



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Máster

Verificación geométrica de encapsulados
microfluidicos fabricados por prototipado
rápido mediante tomografía

Autor

Ángel Tobajas Alonso

Directores

Jorge Santolaria Mazo
Luis Fernández Ledesma

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza
2012

Resumen

Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación cuyo objetivo es el desarrollo de nuevas herramientas de cultivo celular basadas en microtecnologías para la consecución de nuevas vías de ensayo y experimentación que permitan reducir la experimentación con animales y optimizar el desarrollo de nuevos fármacos a través de pruebas de test masivo.

La idea de este trabajo surge en el diseño de encapsulados o dispositivos microfluídicos destinados a estudios de cultivos celulares. Debido las características geométricas de estos dispositivos, la fabricación de estos es extremadamente compleja mediante técnicas de fabricación convencionales, sin incurrir en los altos costos de desarrollo de moldes de inyección para estos. Por ello se decide que la fabricación de estos dispositivos se hace mediante tecnologías basadas en la fabricación por prototipado rápido (Rapid Prototyping). Este tipo de tecnologías, actualmente, se usan sobre todo en el campo de la biomedicina ya que muchos de los dispositivos utilizados están diseñados para usos individuales o en algunos casos clínicos concretos. Dada la precisión que se puede lograr hoy con algunas de estas tecnologías de fabricación disponibles, es posible obtener piezas de uso final para estas aplicaciones.

La problemática, que será la causa de este Trabajo Fin de Máster, surgió al someter estos dispositivos a las condiciones de ensayo de los cultivos celulares a estudiar. Las características de los materiales que nos proporciona el prototipado rápido, junto con las condiciones de temperatura del ensayo, conduce a varios problemas relacionados con la deformación de estos dispositivos, que hacen que el ensayo no sea válido. Por tanto, es necesario caracterizar la precisión geométrica que se puede lograr en dispositivos fabricados utilizando estas tecnologías y su relación con las condiciones de ensayo en el futuro, además de la deformación sufrida en los dispositivos y la relación de esta deformación con el éxito de los ensayos clínicos, con el fin de alimentar de nuevo las alternativas de diseño de los dispositivos para asegurar el éxito de la prueba. En este trabajo, se presenta la verificación dimensional de varios dispositivos microfluidicos iguales, fabricados con una impresora 3D de resina fotopolimerizable.

La caracterización dimensional se realiza mediante tomografía computarizada (TC) con encapsulados de fabricación reciente y con encapsulados después de haber sido sometido a las condiciones de ensayo. Por lo tanto, es posible sacar conclusiones acerca de las desviaciones de la geometría nominal y cómo pueden afectar las condiciones de prueba. En el trabajo se presenta el esquema de verificación dimensional de las nubes de puntos obtenidas con las tomografías computarizadas y las ventajas de esta técnica. Finalmente, se presenta un umbral combinado y la técnica de corrección del factor escala de en imágenes de tomografía. Este método se basa en la medición simultánea de partes objetivas y partes principales con geometría

conocida estableciendo una relación entre ambas. Este método mejora la precisión alcanzable de medición en las imágenes CT. Las conclusiones obtenidas permiten mejorar el diseño geométrico de estos dispositivos con respecto a su comportamiento bajo condiciones de prueba.

Índice

1.Introducción	4
1.1.Introducción al TFM	4
2.Elementos de trabajo	7
2.1.Set-up microfluídico y condiciones de ensayo	7
2.2.Diseño, fabricación y calibración de piezas patrón	9
3.Proceso de medida mediante tomografía.	10
3.1.Método de trabajo	11
3.1.1.Histogramas.....	12
3.1.2.Nubes de puntos.....	14
3.1.3.Factor de escala	15
3.1.4.Determinación del valor de THRESHOLD	27
3.1.5.Factor de escala en valor de THRESHOLD definitivo	34
3.1.6.Conclusiones de métodos de corrección.....	36
3.1.7.Análisis de deformación.....	37
4.Conclusiones	43
5.Referencias.....	44
6.Listado de Figuras.....	45
7.Listado de Tablas	46
ANEXO I	
Resultados de mediciones experimentales	48

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo final de máster que se presenta a continuación, titulado “VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE ENCAPSULADOS MICROFLUIDICOS FABRICADOS POR PROTOTIPADO RÁPIDO MEDIANTE TOMOGRAFÍA”, es el resultado del trabajo realizado bajo la dirección de D. Jorge Santolaria Mazo profesor del Área de Ingeniería de la Fabricación con la codirección de D. Luis Fernández Ledesma, profesor del Área de Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras, de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

1.1. INTRODUCCIÓN AL TFM

Las tecnologías de fabricación aditiva, también conocidas como tecnologías de fabricación por capas o genéricamente como de prototipado rápido (RP), han sido plenamente aplicadas hoy en día en aplicaciones muy diferentes. Desde su primera presencia industrial en 1988, se ha desarrollado más de 40 tecnologías de fabricación por capas en el mercado hoy en día [1]. Estas tecnologías pueden cubrir eficazmente aplicaciones relacionadas con la producción de prototipos en el ciclo de desarrollo de nuevos productos y la obtención de diversos tipos de prototipos en cada fase del ciclo de acuerdo con los requisitos del diseñador o cliente. Los últimos avances en materiales para la creación de prototipos, combinados con técnicas de postprocesado apropiados, permitirá la obtención de piezas para uso final en ciertas aplicaciones. Se trata generalmente, de productos para la producción de series cortas, productos a medida o productos de geometría compleja que no se pueden fabricar de otra manera que por la fabricación de capas. El prototipado rápido es una tecnología que permite la obtención de un modelo físico de forma automática a partir de datos CAD y de fabricación aditiva por capas.

En términos generales, desde el punto de vista industrial, la obtención de una pieza final con las tecnologías de fabricación aditiva que se conoce como Rapid Manufacturing. Aunque estas técnicas originalmente estaban destinadas a aplicaciones puramente industriales, en la actualidad, debido a la flexibilidad para obtener formas complejas y superficies libres, una de las aplicaciones más extendidas de fabricación aditiva se relaciona con aplicaciones médicas. En combinación con técnicas de imagen como la tomografía computarizada (TC) o resonancia magnética (MRI) para la captura de la geometría y para la obtención de archivos STL, el prototipado rápido se utiliza en la fabricación de biomodelos para la planificación quirúrgica [2, 3, 4] o en la cirugía [5] para un paciente concreto y un caso clínico específico. El uso de la RP se extiende también a aplicaciones en el campo de la biología celular y la ingeniería de tejidos, como en la fabricación de andamios para el crecimiento del tejido [6]. Dentro del campo de ensayo clínico utilizando sistemas de microfluidos es común utilizar

microchips para la deposición de células obtenida por fotolitografía integrado en paquetes que proporcionan las conexiones fluidicas necesarias para el transporte de sustancias en las células. El desarrollo de nuevas herramientas para el cultivo de células basadas en microtecnologías permite no sólo el control de la mecánica, química y ambiente eléctrico de muestras biológicas, sino también la monitorización de sus reacciones en una forma no conseguida hasta ahora. De esta manera, es posible generar nuevas formas para la realización de "in vitro", las pruebas en condiciones similares a "in vivo". Este avance se espera que permita la reducción de los animales de experimentación y desarrollo de nuevos fármacos a través de pruebas de alto rendimiento.

La fabricación de microchips destinados al estudio del cultivo celular se basa en la litografía blanda con el uso de materiales como el PDMS. La tecnología basada en el material polimérico SU-8 para el chip se ha desarrollado previamente y probado para aplicaciones de diagnóstico clínico [7, 8] haciendo posible no sólo la construcción de microcanales, sino también la posibilidad de integración del sensor y la creación de un tridimensional plataformas de canales entre otras características interesantes. En el caso de los envases de chips, la complejidad geométrica de las conexiones y los canales de microfluidos, junto con la necesidad de integración de los sensores o de control y sistemas de detección, hace que este tipo de encapsulaciones difícil y costoso de fabricar por las tecnologías de fabricación convencionales, por lo que requieren el uso de las diferentes partes y posterior montaje con elementos de sellado para asegurar el aislamiento de fluidos adecuada. En muchas ocasiones, por necesidades de espacio o la geometría de los canales, estas partes no puede obtenerse a través de fabricación convencional. Sistemas de prototipado rápido son capaces de fabricar con éxito estas geometrías, por lo que es una tecnología de fabricación adecuada para este tipo de aplicaciones también debido a la precisión alcanzable y de la biocompatibilidad de los materiales. Sin embargo, el uso posterior de estos dispositivos de microfluidos requiere tanto la esterilización y prolongados ensayos biológicos en condiciones de células temperatura de cultivo bajo la acción de cargas producidas por los sellos y los elementos de sellado del envase. Por lo general, las tecnologías capaces de obtener el trabajo geometría requerida con materiales de alto coeficiente de expansión térmica (CET), que varía con la temperatura, siendo también materiales ortotrópicos de trabajo en régimen de plástico a temperatura baja. Así, algunos problemas relacionados con la funcionalidad de estas partes y su deformación bajo condiciones de prueba de temperatura se producen, dando lugar a una deformación permanente que puede influir en el desarrollo de la prueba o resultado final. Conociendo el comportamiento del material a estas temperaturas y durante el uso final de las piezas en la prueba, es posible optimizar la geometría de estos dispositivos a ser funcionalmente eficaz para superar sus limitaciones mecánicas.

No es posible la verificación de piezas pequeñas con geometría interna compleja o es parcial por el uso de contacto tradicional o sin contacto de los instrumentos de medición convencionales. Por lo tanto, el uso de máquinas de medición de coordenadas (CMM), el brazo articulado coordinar las máquinas de medición, sensores láser de triangulación o CMM ópticas, se limitan a la geometría externa en este tipo de aplicaciones en las inspecciones no destructivas. La tomografía computarizada (TC) de metrología de rayos X, [9] es la tecnología adecuada para la captura de la geometría y la posterior verificación de estas piezas, debido a la capacidad de obtención de la geometría tanto externa como interna en una medición sin contacto. El resultado de la medición es una nube de puntos que permite el análisis geométrico directo o indirecta después de obtener un archivo STL por el post-tratamiento. En cuanto al resultado, la TC es por tanto una técnica de medición similar a las tecnologías de digitalización utilizados en el control de calidad contra CAD o ingeniería inversa, con la adición de que también permite obtener la geometría interna. Debido a la propagación de la TC en las aplicaciones industriales de metrología dimensional, se han realizado numerosos estudios para modelar las fuentes de error y para desarrollar técnicas eficaces de calibración para este tipo de equipos [10]. Hay muchas fuentes de error que afectan a la incertidumbre en la medición relacionada principalmente con la TC de rayos X emisor, la rotación de la pieza de trabajo durante la captura, el sensor que captura la atenuación en la potencia de los rayos después de pasar a través de la pieza o los algoritmos matemáticos reales para la reconstrucción. Desde el punto de vista de resultado final, por una máquina y las condiciones específicas de medición, la detección de bordes basado en la umbralización es una gran influencia sobre la precisión de la reconstrucción de la superficie de la parte medida. Además, el ajuste de tamaño de voxel en la reconstrucción tiene una influencia global como un factor de escala en la STL obtenido.

En este trabajo, se presenta la verificación geométrica y caracterización dimensional de encapsulados para aplicaciones de microfluidos fabricados en resina fotopolimerizable por RP en una impresora 3D. Esta caracterización se realiza a través de un nuevo procedimiento de medición basadas en la TC y en la medición de piezas patrón del mismo material y geometría conocida. Esta técnica permite el cálculo de las correcciones dimensionales basadas en factores de escala y la corrección de umbral en el proceso de reconstrucción de la geometría 3D a partir del análisis de imágenes obtenidas por TC. También permite evaluar la exactitud de la medición obtenida y mejora la precisión del modelo STL finalmente generado después de las correcciones. Usando esta técnica es posible verificar la exactitud dimensional de los encapsulados microfluidicos fabricados y para analizar la deformación que sufre el debido a las condiciones de ensayo, con el fin de optimizar su diseño geométrico.

2. ELEMENTOS DE TRABAJO

En este trabajo, se analizan por la técnica de verificación dimensional anteriormente descrita cuatro encapsulados para chips microfluidicos fabricados en una impresora 3D (Objet Eden 350V) y dos piezas patrón fabricados por la misma técnica y el mismo material (FullCure resina fotopolimerizable 720). El primer paso en el flujo de trabajo es la modelización 3D CAD del paquete y, una vez preprocesado, es fabricado por el modelo y material de soporte de deposición de capa por capa. La cabeza se mueve en un plano principal (ejes X, Y) con los movimientos a lo largo del eje X y movimientos en la dirección Y entre las pasadas de la cabeza de impresión para la misma capa, si es necesario dependiendo de la anchura de la pieza de trabajo. El material es liberado por la cabeza con un espesor de la capa media nominal de 16 micras en una bandeja que desciende entre las pasadas (eje Z), resultando en una estructura cinemática ZFX [11]. Las dimensiones nominales menores para verificar en las piezas fabricadas son los canales de microfluidos que conectan los puntos laterales de entrada de fluidos en el chip, con un diámetro nominal de 500 μm (Fig. 1). La técnica de fabricación elegida es una de las técnicas con espesor de la capa inferior del mercado, que permite, junto con una buena precisión dimensional nominal (± 100 micras) en todo el volumen de trabajo, consiguiendo un buen acabado superficial y los detalles dentro del rango de tolerancia requerida por la aplicación en las dimensiones de las piezas ensayadas.

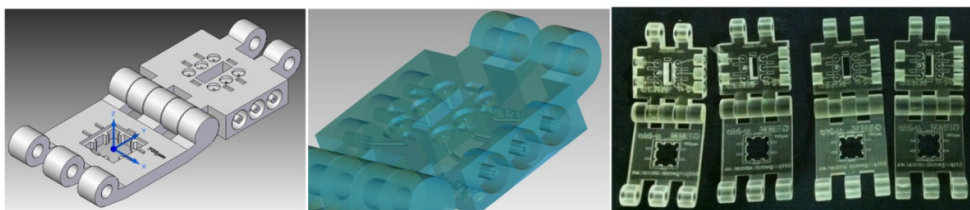


Figura 1. Modelo de encapsulado microfluídico en 3D CAD. Detalles de los canales microfluidicos y encapsulados finales fabricados.

2.1. SET-UP MICROFLUÍDICO Y CONDICIONES DE ENSAYO

A continuación se presenta la instalación completa de microfluidos para la realización de experimentos con cultivos celulares. La instalación está compuesta por un chip de SU-8, un encapsulado, válvulas, un embalse y una microbomba. La interconexión entre la microcámara, el cultivo celular y el mundo exterior es como se puede observar en la Figura 2: en el chip, la microcámara dedicada a cultivar las células está conectada a una salida (500 μm de diámetro) por un microcanal con un el tamaño de 100 μm . Tal salida está herméticamente conectada a los envases gracias a la utilización de juntas tóricas de silicona colocados en la parte superior. Luego, el líquido fluye en el interior del paquete a través de los canales (500 μm de diámetro). Finalmente, conectores de tubo

completamente integrados en el paquete permiten la conexión a los tubos estándar (0,8 mm de diámetro interior). Para mantener el envase cerrado, se utiliza un pasador de acero inoxidable. También es necesario un control electrónico específico para la bomba para obtener el caudal deseado. Después viene la siembra de células, y posteriormente el chip se coloca en el encapsulado creado para esta aplicación. Una vez que todos los componentes de instalación están unidos por los tubos apropiados, el flujo (en el orden de 1 l / min) viene dado por el control electrónico de la microbomba. Cada paso de montaje de la instalación final se debe realizar dentro de una cabina de flujo laminar para garantizar las condiciones de esterilidad, y luego se traslada a una incubadora para mantenerlo en condiciones estándar de cultivo celular: 37 ° C, CO₂ al 5% y el 100% de humedad del conjunto durante, al menos, 24 horas.

En estas condiciones, es cuando se producen las deformaciones en los encapsulados haciendo que la estanqueidad conseguida por los O´rings no exista, de esta manera el flujo de sustancias hacia el cultivo celular es mínimo y por lo tanto el ensayo queda invalidado.

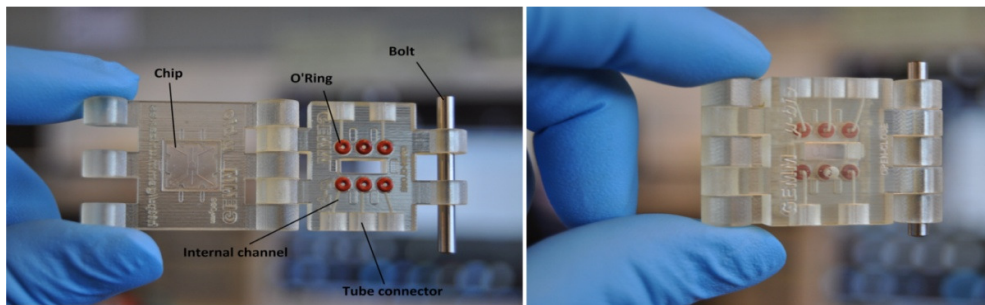


Figura 2. Set microfluídico abierto y cerrado.

Cuatro encapsulados han sido fabricados y analizados para verificar mediante tomografía computarizada. Cada uno ha sido sometido a condiciones diferentes a fin de analizar las influencias y las desviaciones geométricas de cada fase del proceso:

Encapsulado 1: Fabricación, limpieza y montaje de perno, chip y O'rings.

Encapsulado 2: Fabricación en la impresora 3D y limpieza.

Encapsulado 3: como el encapsulado 2, pero se sometió a las condiciones de ensayo en incubadora durante 24 horas

Encapsulado 4: como el encapsulado 1, pero se sometió a las condiciones de ensayo en incubadora durante 24 horas.

2.2. DISEÑO, FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE PIEZAS PATRÓN

Hemos diseñado una pieza de referencia que se usará como una pieza patrón tanto para evaluar la precisión de fabricación y la exactitud de la medición con tomografía computarizada (TC) (fig. 3), con el fin de aplicar métodos de corrección de acuerdo con las dimensiones principales obtenidas. Se fabrican dos piezas que son numeradas y posteriormente calibradas por la medición de contacto por coordenadas en una CMM. Los resultados de la calibración en el CMM de diez mediciones por cada característica geométrica se muestran en la Tabla 1, junto con la incertidumbre expandida para $k = 2$ en cada uno de los valores calibrados, teniendo en cuenta la incertidumbre de CMM, la desviación estándar de las mediciones, el nominal coeficiente de expansión térmica y el rango de variación de la temperatura del laboratorio. La geometría considerada en el diseño de esta pieza, en la que podemos observar que tiene planos paralelos y agujeros, es debido a la necesidad de comprobar geometrías similares en los encapsulados. La Tabla 1 muestra los valores de referencia obtenidos en la calibración y utilizado en las dos técnicas de corrección geométrica.



Figura 3. Piezas patrón.

Tabla 1. Medidas obtenidas mediante CMM de medidas de piezas patrón.

Dimension	Nominal CAD value [mm]	Master 1		Master 2		
		Measurement [mm]	Uncertainty [μm]	Measurement [mm]	Uncertainty [μm]	
Scale factor determination	Distance S_1-S_2	7,000	6.9987	1,3	7.0016	1,3
	Distance S_1-S_3	19,310	19.3738	2,5	19.3316	2,5
	Distance S_1-S_4	18,000	18.0556	2,3	18.0133	2,3
	Distance S_1-S_5	6,590	6.6526	1,4	6.6632	1,3
	Distance S_1-S_6	22,210	22.3117	3,3	22.2596	2,8
	Distance S_2-S_3	18,000	18.0573	2,3	18.0182	2,3
	Distance S_2-S_4	19,310	19.3558	2,5	19.3252	2,5
	Distance S_2-S_5	6,590	6.6634	1,4	6.6735	1,3
	Distance S_2-S_6	22,210	22.3035	3,3	22.2614	2,8
	Distance S_3-S_4	7,000	6.9958	1,3	7.0012	1,3
	Distance S_3-S_5	22,210	22.3592	2,8	22.3377	2,8

Threshold calibration	Distance S_3-S_6	6,590	6.5992	1,5	6.6003	1,3
	Distance S_4-S_5	22,210	22.3475	2,8	22.3292	2,8
	Distance S_4-S_6	6,590	6.6043	1,4	6.5942	1,3
	Distance S_5-S_6	25,000	25.1819	3,4	25.1537	3,1
	Diameter S_1	5,000	4.9573	1,7	4.9530	1,3
	Diameter S_2	5,000	4.9581	1,4	4.9693	1,2
	Diameter S_3	5,000	4.9573	1,8	4.9691	1,2
	Diameter S_4	5,000	4.9606	1,7	4.9544	1,2
	Diameter S_5	4,000	3.9710	1,3	3.9750	1,2
	Diameter S_6	4,000	3.9790	1,5	3.9787	1,1
	Distance P_2-P_3	4,000	3.8994	1,6	3.9023	1,3
	Distance P_3-P_4	7,000	3.1704	1,4	3.1591	1,4
	Distance P_4-P_5	4,000	3.8958	2,7	3.8811	1,4
	Distance P_5-P_6	11,000	7.0968	1,6	7.0889	1,6

3. PROCESO DE MEDIDA MEDIANTE TOMOGRAFÍA

La medición de las piezas se hace en una máquina de micro-CT (General Electric) (fig.5). Se trata de una máquina de propósito general CT desarrollada para piezas de pequeñas dimensiones o mediciones de tejidos, aunque con capacidades de medición adecuados para esta aplicación. Tiene una resolución máxima de $8\mu\text{m}$ y una potencia de rayos X 50 a 80 KV. Se analizan los encapsulados cerrados junto con los dos patrones orientados en direcciones perpendiculares entre sí, de modo que una sola tomografía permite obtener valores de corrección en las tres dimensiones utilizando las mediciones de calibración de los patrones. La disposición de configuración de la medición, manteniendo fija los valores de corriente, la posición de voltaje, y el tamaño de voxel, se muestra en la fig. 4 y una muestra de imágenes CT se muestra en la fig. 5.

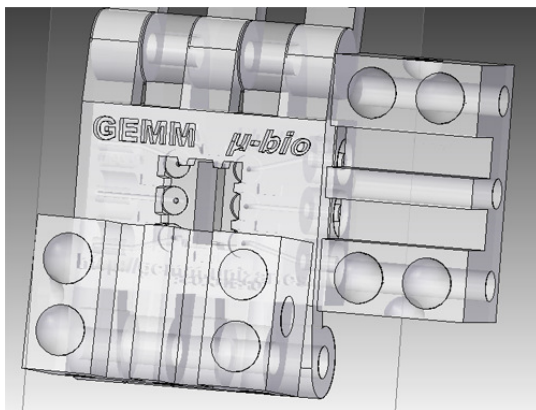


Figura 4. Representación 3D CAD del conjunto encapsulado-piezas patrón.



Figura 5. Conjunto encapsulado-piezas patrón. Máquina de tomografía. Imagen CT del encapsulado.

3.1. MÉTODO DE TRABAJO

El flujo de trabajo comienza con el análisis de datos en Materialise Magics. Dos métodos de corrección independientes sobre la base de mediciones de referencia de las piezas patrón se aplican. La técnica de corrección primero se basa en la determinación del factor de escala adecuado utilizando las dimensiones indicadas en la primera parte de la Tabla 1. Este factor de escala se puede aplicar localmente con distancias individuales, o globalmente, de acuerdo con la pendiente de las desviaciones entre las dimensiones calibradas de la pieza principal y los obtenidos en la medición. Es posible suponer que estas desviaciones son el resultado combinado de un desplazamiento constante, debido al umbral más un término lineal debido al factor de escala. Por lo tanto, la corrección de escala, primero se lleva a cabo, para realizar posteriormente un umbral adaptativo para obtener las superficies que determinan el valor de corte apropiado de las desviaciones utilizando las dimensiones contenidas en la segunda parte de la Tabla 1. En general, esta disposición da una reconstrucción que minimiza tanto los errores. Es complejo para cuantificar la influencia individual del error debido al factor de escala y el error debido a umbralización proceso con un valor inadecuado. Mientras que el factor de escala tiene un efecto global en la precisión final, el umbral afecta de manera diferente dependiendo de si se trata de una dimensión interior o exterior de una característica. Por lo tanto, una aplicación combinada de ambas correcciones secuenciales es adecuada como técnica global de corrección dimensional.

El THRESHOLDING es una técnica usada en imágenes que se utiliza para segmentar una imagen en dos partes, la parte de interés y la parte de fondo. Una imagen CT es un conjunto de píxeles que cada uno de ellos tiene un valor dentro de una escala de grises, el conjunto de ellos y sus valores se representan en un histograma. En una imagen, la parte de fondo y la parte de interés se representan en niveles de gris con alto contraste entre ellos. La frontera que las separa, por tratarse de una transición gradual de nivel de gris, quedará definida en función del valor elegido de THRESHOLD separando así la parte correspondiente a parte de interés y a parte de fondo. Se trata por tanto del rango de niveles de gris en imagen considerado para determinar qué

parte de la imagen corresponde a la pieza de interés, por lo que tiene influencia directa en las dimensiones de la pieza reconstruida y por tanto en su precisión. La transición entre fondo y pieza en imagen se produce de modo gradual en escala de grises por lo que es necesario un ajuste de este parámetro para obtener la mayor precisión posible en la reconstrucción CAD posterior. De esta forma con el histograma se es capaz de analizar la imagen y elegir el valor de THRESHOLD de la frontera que separa la parte de pieza y la parte de fondo. En función de la elección de este valor se obtiene un tamaño de pieza mayor o menor.

3.1.1. HISTOGRAMAS

El comienzo de los trabajos parte de los histogramas de las imágenes CT. En una imagen donde se muestran diferentes materiales, el histograma indica cada uno de ellos mostrando la cantidad de pixeles que lo representan en un rango de valores en la escala de grises. De esta manera, en una imagen donde se observan diferentes picos las zonas entre ellos representan los distintos materiales. Así, se elige aquella zona entre picos que representa el material a analizar (material RP) y se observa el valor de THRESHOLD de los picos límite, el valor mínimo corresponde al valor de ISO 0 y el valor máximo al valor de ISO 100. Para estudiar cómo varía el tamaño de pieza según los valores de ISO se eligen 3 valores. En primer lugar se elige el valor medio de ISO que da el valor medio de tamaño de pieza, este valor corresponde al valor de ISO 50. En segundo lugar, se eligen valores por encima y por debajo del valor medio, un valor que haga menor el tamaño de pieza y otro que lo haga mayor. Se analizan valores por encima y por debajo del valor medio, tomando el 40 y el 60 como representativos a partir de lo que sería la frontera natural de threshold. Por lo tanto se seleccionan 3 valores THRESHOLD, valores de ISO40, ISO50, ISO60.

En la fig. 6 se representa el histograma perteneciente a la tomografía 1. En este histograma existen varios picos, que pertenecen a los distintos materiales existentes en la tomografía. Los picos que representan el material RP son los picos que están entre los valores aproximados de -1024 y -205, dado que es el material más abundante en la tomografía.

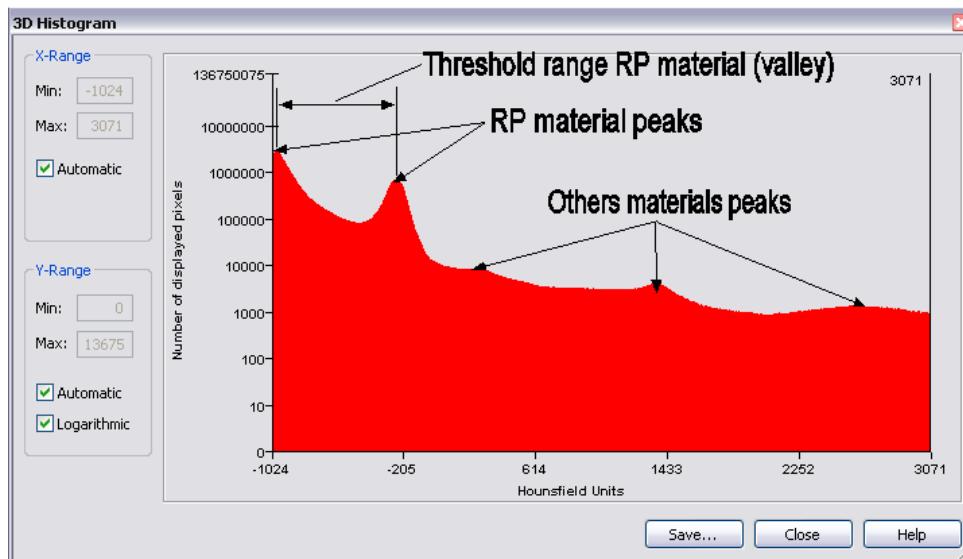


Figura 6. Histograma de la tomografía 1.

Para las distintas tomografías existen diferentes histogramas y por lo tanto diferentes valores de THRESHOLD. Los valores seleccionados en las tomografías son:

	ISO40	ISO50	ISO60
THRESHOLD Values Tomography 1	-715	-637	-560
THRESHOLD Values Tomography 2	920	1150	1380
THRESHOLD Values Tomography 3	-110	75	260
THRESHOLD Values Tomography 4	990	1025	1060

Tabla 2. Valores de THRESHOLD para cada una de las tomografías.

La selección de los valores de la tabla 2 corresponde a los valores de THRESHOLD de las diferentes tomografías. Se ha establecido el valor de ISO en función de los valores máximos y mínimos de THRESHOLD del material RP de cada tomografía.

Los valores ISO establecidos están entre los picos del histograma que representan el material RP. Se ha comentado que el valor máximo de THRESHOLD corresponde al valor de ISO-100 y el mínimo al de ISO-0, por lo tanto el valor de ISO que queramos obtener estará entre los valores máximos y mínimos de THRESHOLD. A continuación, se establece una relación entre estos para obtener el valor de THRESHOLD correspondiente al valor ISO buscado mediante una simple interpolación. La relación por interpolación es,

$$\frac{100-0}{(VT \text{ ISO } 100)-(VT \text{ ISO } 0)} = \frac{100-40}{(VT \text{ ISO } 100)-(X)} \quad (1)$$

dónde VT ISO 100 corresponde al valor de THRESHOLD correspondiente a ISO 100; VT ISO 0 corresponde al valor de THRESHOLD correspondiente a ISO 0 y el valor X corresponde al valor de THRESHOLD correspondiente a ISO 40.

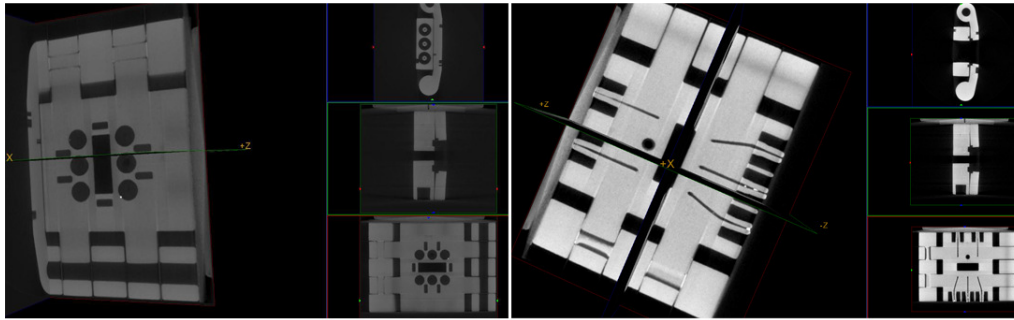


Figura 7. Imágenes CT del encapsulado.

3.1.2. NUBES DE PUNTOS

El resultado obtenido de una imagen CT es una representación en 3D de una nube de puntos que representa el objeto tomografiado. Las mediciones que se muestran en este trabajo están hechas mediante el software GEOMAGIC Qualify que representa el archivo .txt obtenido de MIMICS y facilita el trabajo de selección de puntos y su análisis. Se tiene en cuenta que una nube de puntos no representa el 100% del material de la pieza y por lo tanto para analizar correctamente los datos que se necesitan, se debe elegir adecuadamente los puntos representativos del material. Se comenta esto debido a que en dos de los encapsulados a analizar están presentes otros materiales además del propio del encapsulado y esto genera un “ruido” que es representado por puntos, estos puntos deben ser debidamente obviados.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en el análisis de las nubes de puntos son los bordes o aristas. Como se comenta anteriormente el encapsulado no está representado al 100% por esta nube y por tanto las aristas de la geometría no quedan definidas correctamente. Para diferenciar un plano de otro se hace la intersección entre dos planos virtuales creados en el software a través de un alto porcentaje de puntos que representan cada plano.

Por último a tener en cuenta en el análisis, son las distancias entre planos. Ya sea por defecto de fabricación o por defecto de calidad en la imagen CT los planos no son

paralelos por lo que se establece un procedimiento de medida para la distancia entre planos. Cada plano está compuesto por 4 vértices, se hallan estos vértices mediante la creación de tres planos virtuales cuya intersección da cada vértice, una vez hallados todos los vértices de todos los planos se mide la distancia entre ellos y la media de las cuatro distancias será la distancia entre planos.

3.1.3. FACTOR DE ESCALA

El primer método de corrección basado en el factor de escala se obtiene con medidas de referencia de los patrones. Se buscan medidas que no estén afectadas por el THRESHOLD, estas medidas son las distancias entre centros de esferas. Los centros de esfera son puntos fijos dentro de una pieza y el valor de THRESHOLD solo modifica el valor diámetro de la esfera y no su centro, es decir, este valor solo modifica la superficie representada por la esfera en la pieza. De esta manera, las distancias entre todos los centros de esferas son constantes a lo largo de todos los valores de THRESHOLD de la imagen.

Una vez obtenidas las nubes de puntos en 3D correspondientes a los patrones de cada una de las tomografías para los distintos valores de THRESHOLD, los datos son analizados con el software GEOMAGIC Qualify. El trabajo consiste en obtener distancias entre esferas para determinar el factor de escala de dicha representación 3D y finalmente comparar todas ellas para establecer qué relación mantiene este factor en los diferentes valores de THRESHOLD de cada tomografía.

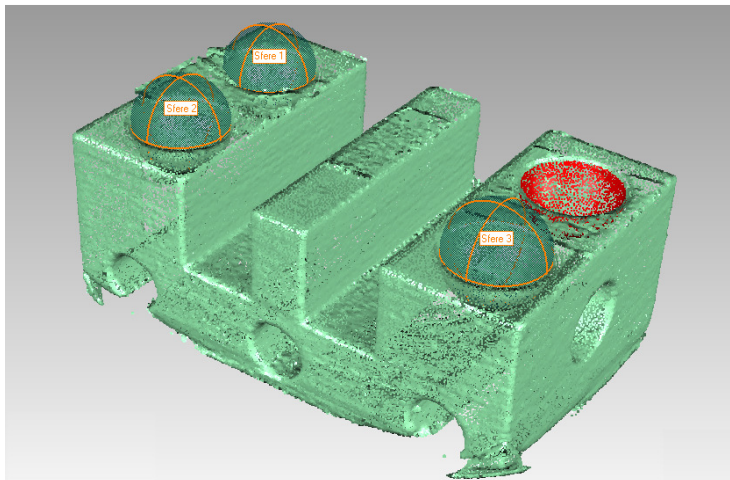


Figura 8. Selección de puntos de la esfera S4 en la pieza patrón 2 en la tomografía 2 e ISO 60.

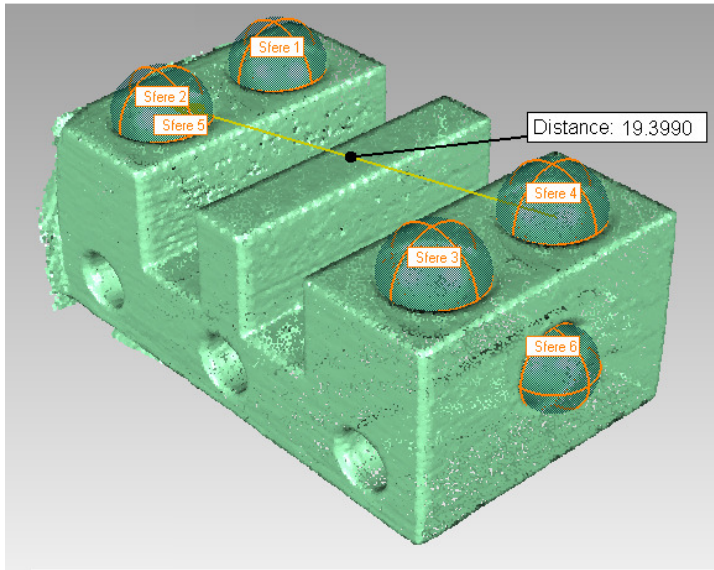


Figura 9. Distancia entre S2-S4 para ISO-40 en tomografía 1 y patrón 1.

Se eligen los puntos pertenecientes a la esfera a calcular, y se obtiene la esfera de ajuste por mínimos cuadrados. En las tablas 3, 4, 5, 6 7, 8, 9 y 10 se observan los diámetros medios, desviaciones estándar y coordenadas de centros de los puntos seleccionados que representan estas esferas en los diferentes valores de TRESHOLD en todas las tomografías y patrones. Se debe tener cuidado ya que la elección errónea de puntos hace que la esfera esté descentrada respecto a su centro real y el diámetro sea también erróneo. Una vez ajustada la esfera a los puntos seleccionados se obtiene el centro de dicha esfera.

A continuación se muestran las tablas correspondientes a los centros de esferas de todas las tomografías y patrones para todos los valores de THRESHOLD.

Tabla 3. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 1.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.892	22	7.353	17.593	44.879
	Sphere 2	4.888	21	7.111	24.637	44.995
	Sphere 3	4.874	15	7.634	24.995	26.92
	Sphere 4	4.892	18	7.865	17.957	26.798
	Sphere 5	3.917	23	11.538	21.194	48.659
	Sphere 6	3.953	14	12.191	21.702	23.403
ISO 50	Sphere 1	4.929	15	7.363	17.593	44.882
	Sphere 2	4.924	13	7.117	24.629	44.999
	Sphere 3	4.915	13	7.634	24.991	26.917
	Sphere 4	4.924	16	7.875	17.953	26.794
	Sphere 5	3.948	16	11.544	21.194	48.643

	Sphere 6	3.993	14	12.189	21.701	23.405
ISO 60	Sphere 1	4.956	16	7.367	17.598	44.888
	Sphere 2	4.956	14	7.117	24.632	45.006
	Sphere 3	4.943	14	7.637	24.992	26.918
	Sphere 4	4.949	16	7.88	17.958	26.797
	Sphere 5	3.978	16	11.542	21.196	48.638
	Sphere 6	4.033	15	12.189	21.702	23.397

Tabla 4. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 2.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.858	13	22.141	30.161	38.884
	Sphere 2	4.875	12	29.168	30.351	38.937
	Sphere 3	4.901	13	29.681	12.273	38.885
	Sphere 4	4.888	14	22.653	12.091	38.817
	Sphere 5	3.864	34	25.517	33.823	43.318
	Sphere 6	3.919	25	26.228	8.616	43.19
ISO 50	Sphere 1	4.913	13	22.143	30.16	38.871
	Sphere 2	4.919	11	29.169	30.357	38.93
	Sphere 3	4.934	13	29.68	12.273	38.885
	Sphere 4	4.923	15	22.654	12.091	38.818
	Sphere 5	3.931	20	25.521	33.828	43.315
	Sphere 6	3.972	11	26.228	8.621	43.186
ISO 60	Sphere 1	4.944	12	22.145	30.164	38.869
	Sphere 2	4.963	12	29.169	30.357	38.92
	Sphere 3	4.985	14	29.684	12.276	38.863
	Sphere 4	4.965	14	22.655	12.088	38.807
	Sphere 5	3.963	20	25.521	33.825	43.318
	Sphere 6	4.002	12	26.229	8.625	43.185

Tabla 5. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 2 y patrón 1.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.912	17	6.526	15.592	44.861
	Sphere 2	4.901	14	6.453	22.636	44.849
	Sphere 3	4.894	15	6.935	22.649	26.761
	Sphere 4	4.9	17	7.012	15.608	26.768
	Sphere 5	3.921	22	10.826	19.163	48.558
	Sphere 6	3.977	16	11.405	19.187	23.296
ISO 50	Sphere 1	4.946	16	6.538	15.591	44.866
	Sphere 2	4.941	13	6.459	22.634	44.855
	Sphere 3	4.937	15	6.934	22.649	26.764
	Sphere 4	4.941	17	7.013	15.61	26.771
	Sphere 5	3.975	22	10.823	19.16	48.559
	Sphere 6	4.014	16	11.407	19.189	23.298
ISO 60	Sphere 1	4.979	16	6.546	15.588	44.869
	Sphere 2	4.988	14	6.452	22.637	44.862

	Sphere 3	4.974	16	6.933	22.653	26.77
	Sphere 4	4.974	18	7.015	15.611	26.773
	Sphere 5	3.992	17	10.824	19.153	48.54
	Sphere 6	4.058	17	11.41	19.193	23.293

Tabla 6. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 2.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.884	12	21.595	27.687	38.589
	Sphere 2	4.898	13	28.622	27.718	38.619
	Sphere 3	4.918	14	28.715	9.632	38.892
	Sphere 4	4.896	15	21.682	9.609	38.86
	Sphere 5	3.889	22	25.078	31.354	42.96
	Sphere 6	3.93	12	25.189	6.143	43.283
ISO 50	Sphere 1	4.925	12	21.599	27.69	38.587
	Sphere 2	4.946	13	28.626	27.722	38.611
	Sphere 3	4.964	17	28.717	9.64	38.889
	Sphere 4	4.946	16	21.689	9.614	38.852
	Sphere 5	3.945	22	25.077	31.358	42.957
	Sphere 6	3.976	12	25.194	6.149	43.284
ISO 60	Sphere 1	4.966	12	21.601	27.693	38.585
	Sphere 2	4.973	12	28.629	27.724	38.618
	Sphere 3	4.989	17	28.72	9.64	38.885
	Sphere 4	4.984	15	21.69	9.616	38.855
	Sphere 5	3.966	19	25.076	31.341	42.958
	Sphere 6	4.009	13	25.198	6.156	43.288

Tabla 7. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 3 y patrón 1.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.915	17	6.729	-15.601	44.889
	Sphere 2	4.904	15	6.568	-22.64	44.928
	Sphere 3	4.899	14	7.033	-22.79	26.834
	Sphere 4	4.905	16	7.198	-15.751	26.792
	Sphere 5	3.926	23	10.97	-19.189	48.596
	Sphere 6	3.984	15	11.54	-19.408	23.338
ISO 50	Sphere 1	4.947	16	6.734	-15.603	44.894
	Sphere 2	4.938	14	6.571	-22.639	44.932
	Sphere 3	4.932	15	7.033	-22.789	26.838
	Sphere 4	4.942	16	7.195	-15.754	26.794
	Sphere 5	3.946	18	10.973	-19.192	48.582
	Sphere 6	4.022	16	11.54	-19.409	23.336
ISO 60	Sphere 1	4.977	16	6.736	-15.601	44.893
	Sphere 2	4.966	13	6.573	-22.638	44.931
	Sphere 3	4.959	15	7.034	-22.79	26.838
	Sphere 4	4.968	17	7.196	-15.754	26.794
	Sphere 5	3.973	15	10.977	-19.191	48.575

	Sphere 6	4.046	16	11.54	-19.409	23.339
--	----------	-------	----	-------	---------	--------

Tabla 8. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 3 y patrón 2.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.904	14	21.684	-27.947	38.683
	Sphere 2	4.907	13	28.71	-28.044	38.73
	Sphere 3	4.919	16	28.965	-9.953	38.861
	Sphere 4	4.916	17	21.936	-9.865	38.806
	Sphere 5	3.895	21	25.122	-31.618	43.09
	Sphere 6	3.953	12	25.47	-6.383	43.211
ISO 50	Sphere 1	4.936	14	21.684	-27.948	38.681
	Sphere 2	4.948	15	28.712	-28.045	38.72
	Sphere 3	4.958	17	28.966	-9.954	38.853
	Sphere 4	4.951	16	21.938	-9.865	38.803
	Sphere 5	3.938	20	25.122	-31.614	43.089
	Sphere 6	3.987	13	25.472	-6.39	43.209
ISO 60	Sphere 1	4.963	12	21.683	-27.947	38.682
	Sphere 2	4.974	12	28.711	-28.044	38.722
	Sphere 3	4.987	17	28.966	-9.953	38.852
	Sphere 4	4.978	16	21.939	-9.865	38.803
	Sphere 5	3.969	19	25.121	-31.597	43.094
	Sphere 6	4.01	12	25.472	-6.396	43.211

Tabla 9. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 4 y patrón 1.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.912	18	6.491	16.447	44.793
	Sphere 2	4.882	14	6.784	23.495	44.825
	Sphere 3	4.886	13	7.264	23.586	26.732
	Sphere 4	4.901	15	6.98	16.544	26.697
	Sphere 5	3.869	18	10.975	19.778	48.493
	Sphere 6	3.947	14	11.56	19.922	23.262
ISO 50	Sphere 1	4.938	15	6.507	16.451	44.801
	Sphere 2	4.922	12	6.791	23.49	44.832
	Sphere 3	4.92	13	7.269	23.586	26.736
	Sphere 4	4.928	15	6.989	16.548	26.701
	Sphere 5	3.924	15	10.975	19.78	48.495
	Sphere 6	3.996	14	11.56	19.921	23.254
ISO 60	Sphere 1	4.967	15	6.512	16.45	44.804
	Sphere 2	4.957	12	6.791	23.489	44.833
	Sphere 3	4.946	12	7.275	23.584	26.737
	Sphere 4	4.954	16	6.993	16.547	26.702
	Sphere 5	3.964	14	10.977	19.779	48.497
	Sphere 6	4.033	14	11.559	19.921	23.249

Tabla 10. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 4 y patrón 2.

		Diameter (mm)	Standart deviation (μm)	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
ISO 40	Sphere 1	4.873	12	22.207	27.843	38.62
	Sphere 2	4.877	12	29.227	27.499	38.664
	Sphere 3	4.904	13	28.353	9.421	38.774
	Sphere 4	4.878	14	21.325	9.777	38.738
	Sphere 5	3.867	18	25.872	31.272	43.032
	Sphere 6	3.925	14	24.639	6.08	43.13
ISO 50	Sphere 1	4.911	11	22.204	27.843	38.616
	Sphere 2	4.914	11	29.225	27.499	38.662
	Sphere 3	4.944	12	28.351	9.421	38.77
	Sphere 4	4.917	13	21.325	9.775	38.736
	Sphere 5	3.943	18	25.873	31.296	43.01
	Sphere 6	3.959	9	24.643	6.094	43.127
ISO 60	Sphere 1	4.945	12	22.206	27.844	38.613
	Sphere 2	4.955	11	29.228	27.502	38.654
	Sphere 3	4.98	14	28.353	9.425	38.764
	Sphere 4	4.955	14	21.329	9.778	38.728
	Sphere 5	3.978	18	25.87	31.268	43.027
	Sphere 6	3.992	10	24.644	6.097	43.126

Una vez obtenidos dichos puntos, se calculan las distancias entre ellos. Al tener 6 esferas, las distancias obtenidas son 15 por cada patrón y tomografía. Así que las distancias contrastadas serán 120. A continuación, se muestra igualmente una tabla de resultados, en los que figuran las distancias reales, las distancias obtenidas en los diferentes valores de THRESHOLD, el error entre las distancias reales y estas últimas y el factor de escala equivalente para cada distancia en cada valor de THRESHOLD.

Tabla 11. Factores de escala en Tomografía 1 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.

	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S_1-S_2	6.9987	7.0491	0.0504	0.9928	7.0413	0.0426	0.9940	7.0394	0.0407	0.9942
Distance S_1-S_3	19.3738	19.4266	0.0528	0.9973	19.4305	0.0567	0.9971	19.4336	0.0598	0.9969
Distance S_1-S_4	18.0556	18.0919	0.0363	0.9980	18.0988	0.0432	0.9976	18.1019	0.0463	0.9974
Distance S_1-S_5	6.6526	6.6910	0.0384	0.9943	6.6778	0.0252	0.9962	6.6662	0.0136	0.9980
Distance S_1-S_6	22.3117	22.3944	0.0827	0.9963	22.3926	0.0809	0.9964	22.4044	0.0927	0.9959
Distance S_2-S_3	18.0573	18.0861	0.0288	0.9984	18.0930	0.0357	0.9980	18.0991	0.0418	0.9977
Distance S_2-S_4	19.3558	19.3990	0.0432	0.9978	19.4053	0.0495	0.9975	19.4086	0.0528	0.9973

Distance S_2-S_5	6.6634	6.6991	0.0357	0.9947	6.6840	0.0206	0.9969	6.6767	0.0133	0.9980
Distance S_2-S_6	22.3035	22.3749	0.0714	0.9968	22.3741	0.0706	0.9968	22.3888	0.0853	0.9962
Distance S_3-S_4	6.9958	7.0428	0.047	0.9933	7.0432	0.0474	0.9933	7.0392	0.0434	0.9938
Distance S_3-S_5	22.3592	22.4114	0.0522	0.9977	22.3992	0.04	0.9982	22.3923	0.0331	0.9985
Distance S_3-S_6	6.5992	6.6317	0.0325	0.9951	6.6262	0.027	0.9959	6.6289	0.0297	0.9955
Distance S_4-S_5	22.3475	22.4025	0.055	0.9975	22.3907	0.0432	0.9981	22.3813	0.0338	0.9985
Distance S_4-S_6	6.6043	6.6532	0.0489	0.9927	6.6441	0.0398	0.9940	6.6442	0.0399	0.9940
Distance S_5-S_6	25.1819	25.2695	0.0876	0.9965	25.2513	0.0694	0.9973	25.2544	0.0725	0.9971
Medium				0.9959			0.9965			0.9966
Standart deviation				0.00197			0.00157			0.00160
Variance (x 10 ^{−6})				3.8984			2.4541			2.5743

Tabla 12. Factores de escala en Tomografía 1 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.

		ISO 40			ISO 50			ISO 60		
	Nominal Value (mm)	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	7.0016	7.0298	0.0282	0.9960	7.0290	0.0274	0.9961	7.0268	0.0252	0.9964
Distance S 1-S 3	19.3316	19.4122	0.0806	0.9958	19.4101	0.0785	0.9960	19.4118	0.0802	0.9959
Distance S 1-S 4	18.0133	18.0774	0.0641	0.9965	18.0763	0.0630	0.9965	18.0833	0.0700	0.9961
Distance S 1-S 5	6.6632	6.6684	0.0053	0.9992	6.6794	0.0162	0.9976	6.6779	0.0147	0.9978
Distance S 1-S 6	22.2596	22.3480	0.0884	0.9960	22.3436	0.0840	0.9962	22.3436	0.0840	0.9962
Distance S 2-S 3	18.0182	18.0854	0.0672	0.9963	18.0913	0.0731	0.9960	18.0884	0.0703	0.9961
Distance S 2-S 4	19.3252	19.3878	0.0626	0.9968	19.3934	0.0682	0.9965	19.3959	0.0707	0.9964
Distance S 2-S 5	6.6735	6.6767	0.0031	0.9995	6.6771	0.0036	0.9995	6.6841	0.0106	0.9984
Distance S 2-S 6	22.2614	22.3415	0.0801	0.9964	22.3432	0.0817	0.9963	22.3409	0.0794	0.9964
Distance S 3-S 4	7.0012	7.0307	0.0295	0.9958	7.0287	0.0275	0.9961	7.0317	0.0305	0.9957
Distance S 3-S 5	22.3377	22.3918	0.0541	0.9976	22.3951	0.0574	0.9974	22.3950	0.0573	0.9974
Distance S 3-S 6	6.6003	6.6204	0.0202	0.9970	6.6145	0.0143	0.9978	6.6292	0.0290	0.9956
Distance S 4-S 5	22.3292	22.3773	0.0480	0.9979	22.3817	0.0525	0.9977	22.3844	0.0552	0.9975
Distance S 4-S 6	6.5942	6.6317	0.0375	0.9943	6.6252	0.0311	0.9953	6.6282	0.0340	0.9949
Distance S 5-S 6	25.1537	25.2174	0.0637	0.9975	25.2172	0.0635	0.9975	25.2103	0.0566	0.9978
Medium				0.9968			0.9968			0.9966
Standart deviation				0.0013			0.0011			0.0010
Variance (x 10 ^{−6})				1.7949			1.1199			0.9785

Tabla 13. Factores de escala en Tomografía 2 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.

	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	6.9987	7.0444	0.0457	0.9935	7.0435	0.0447	0.9936	7.0496	0.0509	0.9928
Distance S 1-S 3	19.3738	19.4314	0.0576	0.9970	19.4333	0.0596	0.9969	19.4329	0.0591	0.9970
Distance S 1-S 4	18.0556	18.0995	0.0440	0.9976	18.1012	0.0457	0.9975	18.1021	0.0465	0.9974
Distance S 1-S 5	6.6526	6.7015	0.0488	0.9927	6.6886	0.0360	0.9946	6.6698	0.0172	0.9974
Distance S 1-S 6	22.3117	22.4004	0.0887	0.9960	22.4016	0.0899	0.9960	22.4093	0.0977	0.9956
Distance S 2-S 3	18.0573	18.0944	0.0371	0.9979	18.0972	0.0399	0.9978	18.0984	0.0411	0.9977
Distance S 2-S 4	19.3558	19.4069	0.0511	0.9974	19.4081	0.0523	0.9973	19.4137	0.0579	0.9970
Distance S 2-S 5	6.6634	6.7038	0.0404	0.9940	6.6957	0.0323	0.9952	6.6918	0.0284	0.9958
Distance S 2-S 6	22.3035	22.3819	0.0784	0.9965	22.3843	0.0807	0.9964	22.3979	0.0943	0.9958
Distance S 3-S 4	6.9958	7.0414	0.0457	0.9935	7.0394	0.0437	0.9938	7.0425	0.0467	0.9934
Distance S 3-S 5	22.3592	22.4143	0.0551	0.9975	22.4125	0.0532	0.9976	22.3902	0.0310	0.9986
Distance S 3-S 6	6.5992	6.6312	0.0320	0.9952	6.6327	0.0335	0.9950	6.6411	0.0419	0.9937
Distance S 4-S 5	22.3475	22.4051	0.0576	0.9974	22.4017	0.0542	0.9976	22.3798	0.0324	0.9986
Distance S 4-S 6	6.6043	6.6455	0.0411	0.9938	6.6467	0.0423	0.9936	6.6526	0.0483	0.9927
Distance S 5-S 6	25.1819	25.2686	0.0867	0.9966	25.2678	0.0859	0.9966	25.2538	0.0719	0.9972
Medium				0.9958			0.9960			0.9960
Standart deviation				0.0018			0.0015			0.0020
Variance (x 10 ⁻⁶)				3.3033			2.3785			4.0842

Tabla 14. Factores de escala en Tomografía 2 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.

	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	7.0016	7.0271	0.0255	0.9964	7.0271	0.0255	0.9964	7.0281	0.0265	0.9962
Distance S 1-S 3	19.3316	19.4105	0.0790	0.9959	19.4051	0.0736	0.9962	19.4083	0.0767	0.9960
Distance S 1-S 4	18.0133	18.0802	0.0669	0.9963	18.0782	0.0649	0.9964	18.0792	0.0659	0.9964
Distance S 1-S 5	6.6632	6.6846	0.0214	0.9968	6.6819	0.0187	0.9972	6.6713	0.0082	0.9988
Distance S 1-S 6	22.2596	22.3404	0.0809	0.9964	22.3383	0.0788	0.9965	22.3360	0.0765	0.9966
Distance S 2-S 3	18.0182	18.0883	0.0701	0.9961	18.0844	0.0662	0.9963	18.0862	0.0680	0.9962

Distance S 2-S 4	19.3252	19.3948	0.0696	0.9964	19.3928	0.0676	0.9965	19.3934	0.0683	0.9965	
Distance S 2-S 5	6.6735	6.6802	0.0066	0.9990	6.6861	0.0126	0.9981	6.6740	0.0005	0.9999	
Distance S 2-S 6	22.2614	22.3387	0.0773	0.9965	22.3385	0.0771	0.9965	22.3329	0.0715	0.9968	
Distance S 3-S 4	7.0012	7.0331	0.0319	0.9955	7.0281	0.0269	0.9962	7.0301	0.0289	0.9959	
Distance S 3-S 5	22.3377	22.3969	0.0592	0.9974	22.3935	0.0558	0.9975	22.3786	0.0409	0.9982	
Distance S 3-S 6	6.6003	6.6247	0.0244	0.9963	6.6268	0.0266	0.9960	6.6279	0.0276	0.9958	
Distance S 4-S 5	22.3292	22.3872	0.0580	0.9974	22.3860	0.0568	0.9975	22.3668	0.0376	0.9983	
Distance S 4-S 6	6.5942	6.6238	0.0297	0.9955	6.6283	0.0341	0.9949	6.6279	0.0337	0.9949	
Distance S 5-S 6	25.1537	25.2133	0.0596	0.9976	25.2114	0.0577	0.9977	25.1875	0.0338	0.9987	
Medium				0.9966				0.9967			
Standart deviation				0.0009				0.0008			
Variance (x 10 ⁻⁶)				0.8242				0.6683			

Tabla 15. Factores de escala en Tomografía 3 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.

		ISO 40			ISO 50			ISO 60		
	Nominal Value (mm)	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S_1-S_2	6.9987	7.0409	0.0422	0.9940	7.0380	0.0393	0.9944	7.0390	0.0403	0.9943
Distance S_1-S_3	19.3738	19.4360	0.0622	0.9968	19.4357	0.0620	0.9968	19.4359	0.0621	0.9968
Distance S_1-S_4	18.0556	18.1037	0.0481	0.9973	18.1065	0.0509	0.9972	18.1055	0.0499	0.9972
Distance S_1-S_5	6.6526	6.6784	0.0258	0.9961	6.6672	0.0146	0.9978	6.6657	0.0130	0.9980
Distance S_1-S_6	22.3117	22.4072	0.0956	0.9957	22.4127	0.1011	0.9955	22.4088	0.0971	0.9957
Distance S_2-S_3	18.0573	18.1006	0.0433	0.9976	18.1005	0.0432	0.9976	18.0995	0.0422	0.9977
Distance S_2-S_4	19.3558	19.4106	0.0547	0.9972	19.4108	0.0550	0.9972	19.4095	0.0536	0.9972
Distance S_2-S_5	6.6634	6.6889	0.0255	0.9962	6.6770	0.0136	0.9980	6.6750	0.0116	0.9983
Distance S_2-S_6	22.3035	22.3896	0.0861	0.9962	22.3944	0.0909	0.9959	22.3900	0.0865	0.9961
Distance S_3-S_4	6.9958	7.0411	0.0453	0.9936	7.0370	0.0412	0.9941	7.0380	0.0422	0.9940
Distance S_3-S_5	22.3592	22.4065	0.0473	0.9979	22.3889	0.0297	0.9987	22.3830	0.0237	0.9989
Distance S_3-S_6	6.5992	6.6312	0.0320	0.9952	6.6334	0.0342	0.9949	6.6316	0.0324	0.9951
Distance S_4-S_5	22.3475	22.3934	0.0459	0.9980	22.3788	0.0313	0.9986	22.3723	0.0249	0.9989
Distance S_4-S_6	6.6043	6.6451	0.0407	0.9939	6.6480	0.0437	0.9934	6.6458	0.0414	0.9938
Distance S_5-S_6	25.1819	25.2654	0.0835	0.9967	25.2533	0.0714	0.9972	25.2432	0.0613	0.9976
Medium				0.9962			0.9965			0.9966
Standart deviation				0.0014			0.0017			0.0017
Variance (x 10 ⁻⁶)				2.0864			2.7928			2.9985

Tabla 16. Factores de escala en Tomografía 3 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.

	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	7.0016	7.0268	0.0252	0.9964	7.0288	0.0272	0.9961	7.0288	0.0272	0.9961
Distance S 1-S 3	19.3316	19.4121	0.0805	0.9959	19.4124	0.0808	0.9958	19.4128	0.0812	0.9958
Distance S 1-S 4	18.0133	18.0842	0.0709	0.9961	18.0852	0.0719	0.9960	18.0842	0.0709	0.9961
Distance S 1-S 5	6.6632	6.6871	0.0240	0.9964	6.6850	0.0219	0.9967	6.6789	0.0158	0.9976
Distance S 1-S 6	22.2596	22.3572	0.0976	0.9956	22.3517	0.0922	0.9959	22.3453	0.0858	0.9962
Distance S 2-S 3	18.0182	18.0933	0.0751	0.9958	18.0933	0.0751	0.9958	18.0933	0.0751	0.9958
Distance S 2-S 4	19.3252	19.4002	0.0750	0.9961	19.4012	0.0760	0.9961	19.3996	0.0744	0.9962
Distance S 2-S 5	6.6735	6.6826	0.0091	0.9986	6.6869	0.0133	0.9980	6.6803	0.0068	0.9990
Distance S 2-S 6	22.2614	22.3557	0.0942	0.9958	22.3515	0.0900	0.9960	22.3445	0.0831	0.9963
Distance S 3-S 4	7.0012	7.0298	0.0286	0.9959	7.0287	0.0275	0.9961	7.0277	0.0265	0.9962
Distance S 3-S 5	22.3377	22.4059	0.0682	0.9970	22.4026	0.0649	0.9971	22.3884	0.0507	0.9977
Distance S 3-S 6	6.6003	6.6244	0.0241	0.9964	6.6246	0.0243	0.9963	6.6228	0.0225	0.9966
Distance S 4-S 5	22.3292	22.3986	0.0694	0.9969	22.3948	0.0656	0.9971	22.3790	0.0497	0.9978
Distance S 4-S 6	6.5942	6.6346	0.0404	0.9939	6.6316	0.0374	0.9944	6.6292	0.0350	0.9947
Distance S 5-S 6	25.1537	25.2377	0.0840	0.9967	25.2267	0.0730	0.9971	25.2037	0.0500	0.9980
Medium				0.9962			0.9963			0.9967
Standart deviation				0.0010			0.0008			0.0011
Variance (x 10 ⁻⁶)				0.9587			0.6886			1.2285

Tabla 17. Factores de escala en Tomografía 4 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.

	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	6.9987	7.0542	0.0555	0.9921	7.0448	0.0461	0.9935	7.0446	0.0459	0.9935
Distance S 1-S 3	19.3738	19.4361	0.0624	0.9968	19.4379	0.0642	0.9967	19.4395	0.0657	0.9966
Distance S 1-S 4	18.0556	18.1029	0.0473	0.9974	18.1067	0.0511	0.9972	18.1086	0.0531	0.9971
Distance S 1-S 5	6.6526	6.7001	0.0475	0.9929	6.6851	0.0325	0.9951	6.6826	0.0299	0.9955

Distance S 1-S 6	22.3117	22.3909	0.0793	0.9965	22.4019	0.0903	0.9960	22.4084	0.0968	0.9957
Distance S 2-S 3	18.0573	18.0996	0.0423	0.9977	18.1026	0.0453	0.9975	18.1027	0.0454	0.9975
Distance S 2-S 4	19.3558	19.4160	0.0601	0.9969	19.4156	0.0597	0.9969	19.4156	0.0597	0.9969
Distance S 2-S 5	6.6634	6.6959	0.0325	0.9952	6.6849	0.0215	0.9968	6.6867	0.0233	0.9965
Distance S 2-S 6	22.3035	22.3727	0.0692	0.9969	22.3851	0.0815	0.9964	22.3905	0.0869	0.9961
Distance S 3-S 4	6.9958	7.0478	0.0521	0.9926	7.0437	0.0479	0.9932	7.0427	0.0470	0.9933
Distance S 3-S 5	22.3592	22.4012	0.0420	0.9981	22.3981	0.0388	0.9983	22.3982	0.0390	0.9983
Distance S 3-S 6	6.5992	6.6273	0.0281	0.9958	6.6309	0.0317	0.9952	6.6285	0.0292	0.9956
Distance S 4-S 5	22.3475	22.3938	0.0464	0.9979	22.3900	0.0425	0.9981	22.3906	0.0432	0.9981
Distance S 4-S 6	6.6043	6.6473	0.0430	0.9935	6.6448	0.0404	0.9939	6.6450	0.0406	0.9939
Distance S 5-S 6	25.1819	25.2382	0.0563	0.9978	25.2482	0.0663	0.9974	25.2551	0.0732	0.9971
Medium				0.9959			0.9961			0.9961
Standart deviation				0.0021			0.0016			0.0016
Variance (x 10 ⁻⁶)				4.3608			2.6342			2.4089

Tabla 18. Factores de escala en Tomografía 4 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.

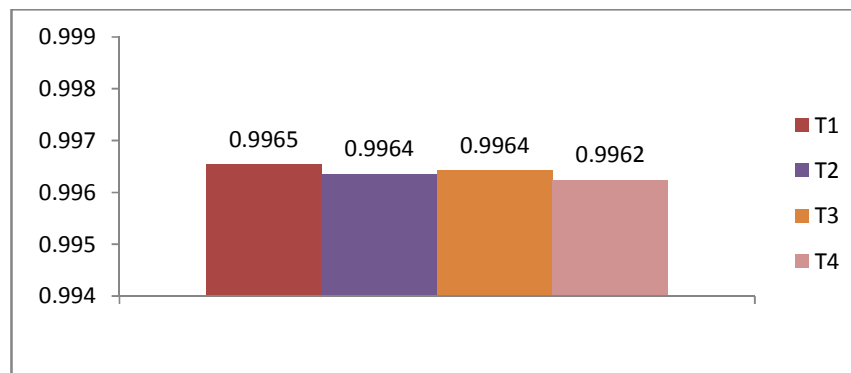
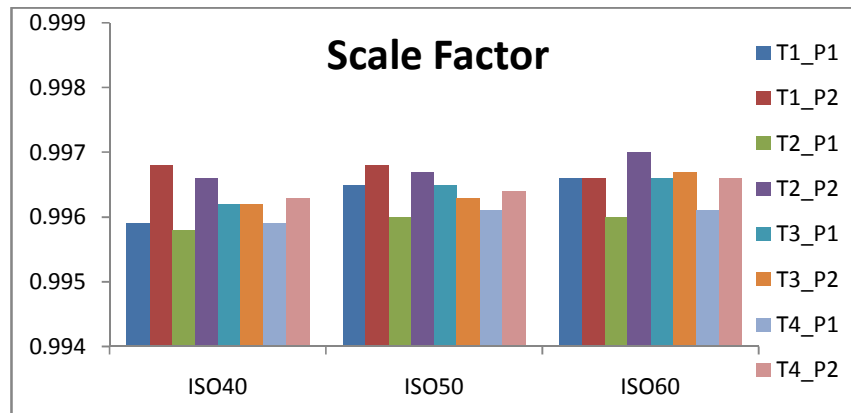
	Nominal Value (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E	Dist. (mm)	Error (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	7.0016	7.0286	0.0270	0.9962	7.0296	0.0280	0.9960	7.0304	0.0288	0.9959
Distance S 1-S 3	19.3316	19.4208	0.0892	0.9954	19.4211	0.0895	0.9954	19.4182	0.0867	0.9955
Distance S 1-S 4	18.0133	18.0879	0.0746	0.9959	18.0898	0.0765	0.9958	18.0876	0.0743	0.9959
Distance S 1-S 5	6.6632	6.6825	0.0194	0.9971	6.6852	0.0220	0.9967	6.6807	0.0176	0.9974
Distance S 1-S 6	22.2596	22.3581	0.0985	0.9956	22.3454	0.0858	0.9962	22.3437	0.0842	0.9962
Distance S 2-S 3	18.0182	18.0994	0.0813	0.9955	18.0994	0.0813	0.9955	18.0985	0.0803	0.9956
Distance S 2-S 4	19.3252	19.4040	0.0788	0.9959	19.4050	0.0799	0.9959	19.4046	0.0794	0.9959
Distance S 2-S 5	6.6735	6.6761	0.0026	0.9996	6.6752	0.0017	0.9997	6.6770	0.0035	0.9995
Distance S 2-S 6	22.2614	22.3555	0.0941	0.9958	22.3407	0.0792	0.9965	22.3425	0.0810	0.9964
Distance S 3-S 4	7.0012	7.0371	0.0359	0.9949	7.0350	0.0338	0.9952	7.0330	0.0318	0.9955
Distance S 3-S 5	22.3377	22.3998	0.0621	0.9972	22.4195	0.0818	0.9964	22.3932	0.0555	0.9975
Distance S 3-S 6	6.6003	6.6280	0.0278	0.9958	6.6183	0.0180	0.9973	6.6226	0.0224	0.9966
Distance S 4-S 5	22.3292	22.3864	0.0571	0.9974	22.4077	0.0785	0.9965	22.3813	0.0521	0.9977
Distance S 4-S 6	6.5942	6.6287	0.0346	0.9948	6.6212	0.0270	0.9959	6.6243	0.0301	0.9955
Distance S 5-S 6	25.1537	25.2223	0.0687	0.9973	25.2323	0.0786	0.9969	25.2010	0.0473	0.9981

Medium		0.9963		0.9964		0.9966
Standart deviation		0.0012		0.0011		0.0012
Variance (x 10 ⁻⁶)		1.5510		1.1910		1.4037

Por último, se muestra una tabla resumen de todas las tomografías con cada uno de sus patrones. En ellas vemos el factor de escala medio, la desviación típica y la varianza entre todas las distancias para cada valor de THRESHOLD en cada tomografía y patrón.

Tabla 19. Resumen de factores de escala.

	Tomography 1					
	Master 1			Master 2		
	ISO 40	ISO 50	ISO 60	ISO 40	ISO 50	ISO 60
Medium	0.9959	0.9965	0.9966	0.9968	0.9968	0.9966
Standart deviation	0.0020	0.0016	0.0016	0.0013	0.0011	0.001
Variance (x 10 ⁻⁶)	3.8984	2.4541	2.5743	1.7949	1.1199	0.9785
	Tomography 2					
	Master 1			Master 2		
	ISO 40	ISO 50	ISO 60	ISO 40	ISO 50	ISO 60
Medium	0.9958	0.996	0.996	0.9966	0.9967	0.997
Standart deviation	0.0018	0.0015	0.002	0.0009	0.0008	0.0014
Variance (x 10 ⁻⁶)	3.3033	2.3785	4.0842	0.8242	0.6683	1.9693
	Tomography 3					
	Master 1			Master 2		
	ISO 40	ISO 50	ISO 60	ISO 40	ISO 50	ISO 60
Medium	0.9962	0.9965	0.9966	0.9962	0.9963	0.9967
Standart deviation	0.0014	0.0017	0.0017	0.001	0.0008	0.0011
Variance (x 10 ⁻⁶)	2.0864	2.7928	2.9985	0.9587	0.6886	1.2285
	Tomography 4					
	Master 1			Master 2		
	ISO 40	ISO 50	ISO 60	ISO 40	ISO 50	ISO 60
Medium	0.9959	0.9961	0.9961	0.9963	0.9964	0.9966
Standart deviation	0.0021	0.0016	0.0016	0.0012	0.0011	0.0012
Variance (x 10 ⁻⁶)	4.3608	2.6342	2.4089	1.551	1.191	1.4037



Se observa que la relación que existe del factor de escala entre los diferentes valores de THRESHOLD obtenida en cada tomografía y en cada patrón es una relación de continuidad, es decir, el factor de escala se mantiene constante y no depende del valor de THRESHOLD. Por lo tanto, observando además los valores de desviación estándar obtenidos se deriva que el factor de escala calculado con dichas medidas es estable para determinar que la tomografía está escalada este factor. Esto es importante ya que se comprueba que el factor de escala mantiene una relación entre ISO 0 hasta ISO 100. De no ser así, en el caso de que no se fuese capaz de extraer una relación entre el factor de escala y los diferentes valores de THRESHOLD, no se podría determinar qué valor de THRESHOLD haría que la medida obtenida fuera la medida real.

3.1.4. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE THRESHOLD

El segundo método de corrección basado en los valores de THRESHOLD, como se ha explicado anteriormente nos da dimensiones de pieza. Se ha obtenido el factor de escala comparando las distancias entre las esferas de las tomografías y las distancias nominales obtenidas en la MMC. En este apartado, se determina el valor de THRESHOLD a partir de medidas que afecten a superficies de pieza, es decir, con medidas que varíen con el valor de THRESHOLD. Estas medidas son los diámetros de

esferas y distancias entre planos de los patrones. Una vez medidas estas dimensiones y aplicándoles el factor de escala también explicado en el apartado anterior, las medidas corregidas deben ser lo más próximas a dimensiones nominales de pieza. Estos valores reales se han obtenido anteriormente y representado en la tabla 1.

Se tendrá en cuenta que disminuyendo los valores de THRESHOLD se ven disminuidas las medidas interiores y aumentadas las exteriores, y viceversa. Por lo tanto, vemos que hay medidas que no nos aportarán ningún dato y otras en las que se debe ser cuidadoso al interpretarlas. Las distancias entre los planos PL2-PL4, PL3-PL5 y PL4-PL6 no varían al disminuir los valores de THRESHOLD, sin embargo, las distancias entre planos PL1-PL2, PL3-PL4 y PL5-PL6 aumentan y las distancias entre planos PL2-PL3 y PL4-PL5 disminuyen. Ver figura 10.

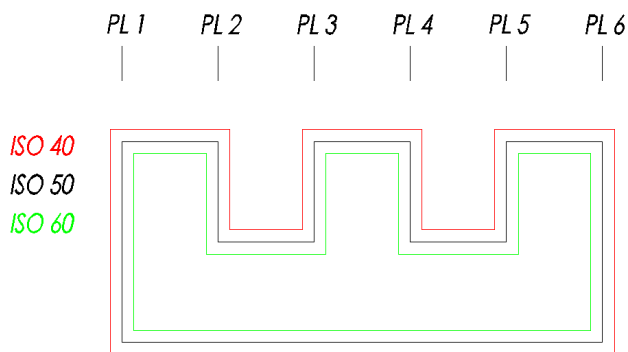


Figura 10. Ejemplo de los diferentes valores de THRESHOLD.

Todas las medidas se analizan una a una y se aplica el factor de escala en ellas para determinar el valor de THRESHOLD que corresponde a las dimensiones reales de pieza (Tabla 1). Se comprueba lo explicado en los párrafos anteriores, vemos como las medidas interiores crecen y las exteriores decrecen conforme aumentamos los valores de THRESHOLD, indicándose que no existe error de método. Con cada una de estas medidas, en cada uno de los patrones de cada una de las tomografías, se predice el valor de THRESHOLD que ocupará la medida real estableciendo una relación lineal con los datos obtenidos. Es decir, se establece que la relación entre el valor de medida y el valor de THRESHOLD cumple una relación lineal, y por lo tanto se puede hallar cualquier valor de THRESHOLD de cualquier medida.

Se obtiene el valor de THRESHOLD tal y como se explica en el párrafo anterior, y posteriormente se hace la conversión a escala ISO para establecer una comparación entre las 4 tomografías. El valor obtenido de THRESHOLD está entre los picos del histograma que representan el material RP. Se ha comentado que el valor máximo de

THRESHOLD corresponde al valor de ISO-100 y el mínimo al de ISO-0, por lo tanto el valor obtenido corresponde a un valor intermedio de ISO. Conocidos los valores de THRESHOLD correspondientes a los picos, se establece la relación entre ellos para obtener el valor ISO correspondiente al valor calculado mediante una simple interpolación. La relación por interpolación es,

$$\frac{100-0}{(VT \text{ ISO } 100)-(VT \text{ ISO } 0)} = \frac{100-X}{(VT \text{ ISO } 100)-(Valor \text{ obtenido})} \quad (2)$$

dónde VT ISO 100 corresponde al valor de THRESHOLD correspondiente a ISO 100; VT ISO 0 corresponde al valor de THRESHOLD correspondiente a ISO 0; Valor obtenido es el valor de THRESHOLD obtenido como definitivo y el valor X corresponde a la incógnita que es el valor ISO de valor de THRESHOLD obtenido como definitivo.

Para ello se muestra los resultados de todas las tomografías y patrones.

Tabla 20. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 1 patrón 1

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.9573	4.892	4.8722	0.0851	4.929	4.9117	0.0456	4.956	4.9392	0.0181
Diameter S_2	4.9580	4.888	4.8682	0.0899	4.924	4.9067	0.0514	4.956	4.9392	0.0189
Diameter S_3	4.9573	4.874	4.8542	0.1031	4.915	4.8977	0.0596	4.943	4.9262	0.0311
Diameter S_4	4.9606	4.892	4.8722	0.0884	4.924	4.9067	0.0539	4.949	4.9322	0.0284
Diameter S_5	3.9709	3.917	3.9011	0.0698	3.948	3.9341	0.0368	3.978	3.9645	0.0065
Diameter S_6	3.9790	3.953	3.9370	0.042	3.993	3.9790	0	4.033	4.0193	0.0403
P2-P3	3.8994	3.826	3.8108	0.0886	3.876	3.8621	0.0374	3.931	3.9180	0.0185
P3-P4	3.1704	3.339	3.3251	-0.1546	3.223	3.2117	0.0412	3.138	3.1274	0.043
P4-P5	3.8958	3.786	3.7703	0.1256	3.83	3.8169	0.079	3.957	3.9443	0.0484
P5-P6	7.0968	7.204	7.1748	-0.0779	7.166	7.1412	0.0444	7.132	7.1080	0.0111

Tabla 21. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 1 patrón 2

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.953	4.858	4.8426	0.1104	4.913	4.8974	0.0556	4.944	4.9271	0.0259
Diameter S_2	4.9693	4.875	4.8596	0.1097	4.919	4.9034	0.0659	4.963	4.946	0.0233

Diameter S_3	4.9691	4.901	4.8855	0.0836	4.934	4.9184	0.0507	4.985	4.9679	0.0012
Diameter S_4	4.9544	4.888	4.8725	0.0819	4.923	4.9074	0.0470	4.965	4.948	0.0064
Diameter S_5	3.975	3.864	3.8518	0.1232	3.931	3.9185	0.0565	3.963	3.9494	0.0256
Diameter S_6	3.9787	3.919	3.9066	0.0721	3.972	3.9594	0.0193	4.002	3.9883	0.0096
P2-P3	3.9023	3.8285	3.8164	0.0859	3.8671	3.8549	0.0474	3.9045	3.8911	0.0112
P3-P4	3.1591	3.218	3.2078	0.0487	3.1774	3.1674	0.0083	3.1419	3.1311	0.0280
P4-P5	3.8811	3.8508	3.8386	0.0425	3.9006	3.8882	0.0071	3.9397	3.9263	0.0452
P5-P6	7.0889	7.1997	7.177	0.0881	7.1652	7.1424	0.0535	7.1297	7.1053	0.0164

Tabla 22. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 2 patrón 1

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.9573	4.912	4.8913	0.0660	4.946	4.926	0.0312	4.979	4.959	0.0020
Diameter S_2	4.9581	4.901	4.8803	0.0777	4.941	4.921	0.0370	4.988	4.968	0.0102
Diameter S_3	4.9573	4.894	4.8733	0.0840	4.937	4.917	0.0402	4.974	4.954	0.0030
Diameter S_4	4.9606	4.900	4.8793	0.0813	4.941	4.921	0.0395	4.974	4.954	0.0063
Diameter S_5	3.9710	3.921	3.9045	0.0665	3.975	3.959	0.0120	3.992	3.976	0.0053
Diameter S_6	3.9790	3.977	3.9602	0.0188	4.014	3.998	0.0188	4.058	4.042	0.0629
P2-P3	3.8994	3.750	3.7343	0.1651	3.906	3.890	0.0094	4.031	4.015	0.1159
P3-P4	3.1705	3.304	3.2899	0.1194	3.179	3.166	0.0046	3.083	3.071	0.0994
P4-P5	3.8959	3.824	3.8080	0.0879	3.893	3.877	0.0184	3.960	3.944	0.0483
P5-P6	7.0969	7.194	7.1632	0.0663	7.144	7.115	0.0184	7.107	7.079	0.0178

Tabla 23. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 2 patrón 2

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.953	4.884	4.8676	0.0854	4.925	4.9085	0.0445	4.966	4.9512	0.0018
Diameter S_2	4.9693	4.898	4.8815	0.0878	4.946	4.9295	0.0398	4.973	4.9581	0.0112
Diameter S_3	4.9691	4.918	4.9015	0.0676	4.964	4.9474	0.0217	4.989	4.9741	0.0050
Diameter S_4	4.9544	4.896	4.8795	0.0749	4.946	4.9295	0.0249	4.984	4.9691	0.0147
Diameter S_5	3.975	3.889	3.8759	0.0991	3.945	3.9318	0.0432	3.966	3.9542	0.0208
Diameter S_6	3.9787	3.93	3.9168	0.0619	3.976	3.9627	0.0160	4.009	3.997	0.0183
P2-P3	3.9023	3.884	3.8713	0.0310	3.928	3.9146	0.0123	3.972	3.9597	0.0574
P3-P4	3.1591	3.2	3.1893	0.0302	3.157	3.1468	0.0123	3.112	3.1031	0.0560
P4-P5	3.8811	3.841	3.8281	0.0530	3.887	3.8745	0.0066	3.937	3.9252	0.0441
P5-P6	7.0889	7.191	7.1663	0.0774	7.145	7.1212	0.0323	7.098	7.077	0.0119

Tabla 24. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 3 patrón 1

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.9573	4.915	4.8961	0.0612	4.947	4.930	0.0277	4.977	4.960	0.0030
Diameter S_2	4.9581	4.904	4.8851	0.0729	4.938	4.921	0.0374	4.966	4.949	0.0087
Diameter S_3	4.9573	4.899	4.8802	0.0771	4.932	4.915	0.0426	4.959	4.942	0.0150
Diameter S_4	4.9606	4.905	4.8861	0.0745	4.942	4.925	0.0360	4.968	4.951	0.0093
Diameter S_5	3.9710	3.926	3.9109	0.0601	3.946	3.932	0.0388	3.973	3.960	0.0113
Diameter S_6	3.9790	3.984	3.9687	0.0103	4.022	4.008	0.0289	4.046	4.032	0.0534
P2-P3	3.8994	3.797	3.7827	0.1167	3.908	3.894	0.0052	4.006	3.992	0.0930
P3-P4	3.1705	3.273	3.2603	0.0898	3.176	3.165	0.0052	3.099	3.089	0.0814
P4-P5	3.8959	3.832	3.8176	0.0783	3.890	3.876	0.0194	3.948	3.935	0.0391
P5-P6	7.0969	7.190	7.1622	0.0654	7.154	7.129	0.0320	7.113	7.089	0.0076

Tabla 25. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 3 patrón 2

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.9530	4.904	4.8855	0.0674	4.936	4.918	0.0352	4.963	4.947	0.0064
Diameter S_2	4.9693	4.907	4.8885	0.0807	4.948	4.930	0.0395	4.974	4.957	0.0118
Diameter S_3	4.9691	4.919	4.9005	0.0686	4.958	4.940	0.0294	4.987	4.970	0.0014
Diameter S_4	4.9544	4.916	4.8975	0.0569	4.951	4.933	0.0216	4.978	4.961	0.0071
Diameter S_5	3.9750	3.895	3.8803	0.0947	3.938	3.923	0.0516	3.969	3.956	0.0192
Diameter S_6	3.9787	3.953	3.9381	0.0406	3.987	3.972	0.0064	4.010	3.997	0.0180
P2-P3	3.9023	3.893	3.8782	0.0241	3.930	3.915	0.0130	3.966	3.953	0.0503
P3-P4	3.1591	3.202	3.1902	0.0311	3.161	3.149	0.0097	3.126	3.116	0.0436
P4-P5	3.8811	3.851	3.8368	0.0443	3.888	3.874	0.0073	3.923	3.910	0.0285
P5-P6	7.0889	7.180	7.1530	0.0641	7.145	7.118	0.0294	7.114	7.090	0.0012

Tabla 26. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 4 patrón 1

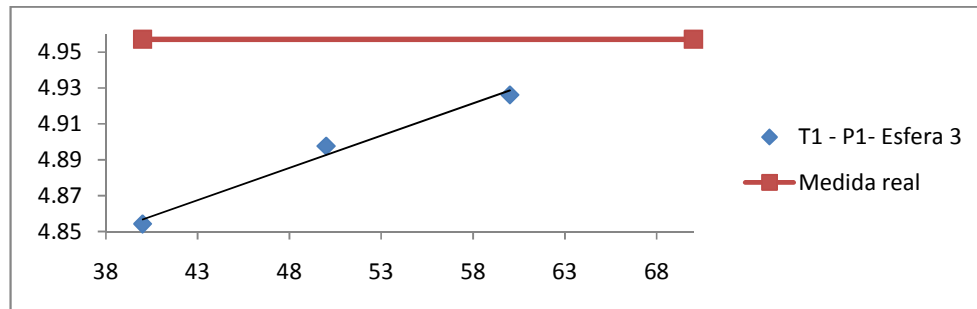
	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.9573	4.912	4.8917	0.0656	4.938	4.919	0.0384	4.967	4.948	0.0096
Diameter S_2	4.9581	4.882	4.8618	0.0962	4.922	4.903	0.0551	4.957	4.938	0.0203
Diameter S_3	4.9573	4.886	4.8658	0.0915	4.920	4.901	0.0563	4.946	4.927	0.0305
Diameter S_4	4.9606	4.901	4.8808	0.0798	4.928	4.909	0.0516	4.954	4.935	0.0259
Diameter S_5	3.9710	3.869	3.8530	0.1179	3.924	3.909	0.0621	3.964	3.949	0.0224
Diameter S_6	3.9790	3.947	3.9307	0.0483	3.996	3.981	0.0016	4.033	4.017	0.0383
P2-P3	3.8994	3.766	3.7504	0.1490	3.856	3.841	0.0588	3.957	3.941	0.0419
P3-P4	3.1705	3.336	3.3223	0.1519	3.216	3.204	0.0335	3.138	3.126	0.0445
P4-P5	3.8959	3.801	3.7851	0.1108	3.868	3.853	0.0431	3.918	3.903	0.0072
P5-P6	7.0969	7.207	7.1771	0.0802	7.168	7.141	0.0438	7.138	7.111	0.0138

Tabla 27. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 4 patrón 2

	Nominal Measure (mm)	ISO 40			ISO 50			ISO 60		
		FE = 0.9959 (Tabla.2)			FE = 0.9964 (Tabla.2)			FE = 0.9966 (Tabla.2)		
		Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)	Measure (mm)	Corrected Measure (mm)	Error (mm)
Diameter S_1	4.953	4.873	4.8549	0.098	4.911	4.893	0.0597	4.945	4.928	0.0247
Diameter S_2	4.9693	4.877	4.8589	0.1103	4.914	4.896	0.073	4.955	4.938	0.0311
Diameter S_3	4.9691	4.904	4.8858	0.0832	4.944	4.926	0.0429	4.98	4.963	0.0059
Diameter S_4	4.9544	4.878	4.8599	0.0944	4.917	4.899	0.0551	4.955	4.938	0.0162
Diameter S_5	3.975	3.867	3.8527	0.1223	3.943	3.929	0.0463	3.978	3.965	0.0105
Diameter S_6	3.9787	3.925	3.9105	0.0682	3.959	3.945	0.034	3.992	3.978	0.0002
P2-P3	3.9023	3.872	3.8579	0.0444	3.912	3.898	0.0046	3.95	3.937	0.0343
P3-P4	3.1591	3.216	3.2043	0.0452	3.177	3.166	0.0069	3.14	3.13	0.0294
P4-P5	3.8811	3.833	3.8183	0.0628	3.872	3.858	0.0228	3.91	3.897	0.016
P5-P6	7.0889	7.203	7.1762	0.0874	7.164	7.138	0.0488	7.127	7.103	0.0142

y se analiza más concretamente la esfera 3 en la tomografía 1 patrón 1, como ejemplo.

· Grafica de ISO de la esfera 3.



· Cálculo de relación lineal para la esfera 3:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (4)$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} \quad (5)$$

donde Y corresponde al Valor de TRESHOLD real; X corresponde al Valor de medida real; a corresponde al Valor de tendencia cuando X=0 y b corresponde a la pendiente de la recta de tendencia.

Se sustituye el valor de la medida real de la esfera 3 y los valores obtenidos en las ecuaciones 4 y 5 en la ecuación 3 y se obtiene el valor de THRESHOLD que se debería aplicar a la tomografía para obtener la imagen que diera el diámetro de esfera medido igual que el de medida nominal.

$$Y = -11027.73 + 2123.64 \cdot X \quad (6)$$

$$-500.1919 = -11027.73 + 2123.64 \cdot 4.9573 \quad (7)$$

El valor de THRESHOLD de -500.1919 en la tomografía 1 corresponde a un ISO de 66.74.

Tabla 28. Resumen para todas las medidas de todos los patrones de cada tomografía

	Esfera 1	Esfera 2	Esfera 3	Esfera 4	Esfera 5	Esfera 6	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	Media	Media
Tomography 1 Master 1	63.48	63.71	66.74	67.80	60.44	48.20	55.01	53.41	54.28	61.92	59.502	59.162
Tomography 1 Master 2	63.81	64.02	59.45	60.48	62.64	55.00	61.46	50.68	47.26	63.37	58.821	
Tomography 2 Master 1	64.71	63.12	65.98	66.92	61.86	48.42	55.77	54.73	57.39	60.17	59.911	60.319
Tomography 2 Master 2	66.01	67.77	62.90	61.31	69.84	59.77	50.91	50.90	55.39	62.42	60.726	
Tomography 3 Master 1	62.22	65.69	67.78	65.57	68.40	45.66	54.16	53.36	56.59	61.49	60.096	59.986
Tomography 3 Master 2	65.24	66.09	62.50	60.73	67.95	56.56	49.69	51.24	55.36	63.34	59.875	
Tomography 4 Master 1	62.28	63.79	68.14	68.07	62.86	49.65	54.69	53.70	57.14	62.58	60.294	59.741
Tomography 4 Master 2	65.29	66.69	60.19	62.85	59.48	58.87	50.24	51.00	54.78	62.44	59.188	

La conclusión de los resultados, a pesar de trabajar con diferentes valores de THRESHOLD en cada una de las tomografías, es que estos son muy próximos entre ellos y por lo tanto se establece que el método de corrección es estable en las 4 tomografías.

Tabla 29. Valores de THRESHOLD definitivos para cada tomografía.

	ISO	THRESHOLD Values	Definitive THRESHOLD values
THRESHOLD Tomography 1	59.1616	-566.497813	-566

THRESHOLD Tomography 2	60.3187	1387.3294	<u>1387</u>
THRESHOLD Tomography 3	59.9857	259.73479	<u>260</u>
THRESHOLD Tomography 4	59.7409	1059.09328	<u>1059</u>

3.1.5. FACTOR DE ESCALA EN VALOR DE THRESHOLD DEFINITIVO

Se han obtenido resultados para los dos métodos de corrección establecidos. Se ha comprobado que las tomografías están escaladas y se ha obtenido aquel valor de THRESHOLD que define la parte de interés y la parte de fondo, o sea aquel valor que define la pieza real. A continuación se comprueba lo establecido en párrafos anteriores, que el factor de escala es constante para cualquier valor de THRESHOLD desde ISO-0 hasta ISO-100. Por lo tanto, a partir de esta imagen definitiva se obtendrá el factor de escala, qué debe coincidir con el factor obtenido en los anteriores valores de THRESHOLD (ISO-40, ISO-50 y ISO-60). Para esto se usa la misma técnica utilizada, se obtiene la imagen definitiva con las piezas patrón y el encapsulado y se miden las distancias entre esferas de las piezas patrón que representarán el factor de escala de la imagen.

Tabla 30. Distancias entre esferas y factores de escala en tomografías definitivas en el patrón 1.

	Tomography 1 Master 1		Tomography 2 Master 1		Tomography 3 Master 1		Tomography 4 Master 1	
	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E
Distance S_1-S_2	7.0415	0.9939	7.0476	0.9931	7.0401	0.9941	7.0434	0.9937
Distance S_1-S_3	19.4482	0.9962	19.4336	0.9969	19.4126	0.9980	19.4410	0.9965
Distance S_1-S_4	18.0989	0.9976	18.1031	0.9974	18.1015	0.9975	18.1096	0.9970
Distance S_1-S_5	6.6697	0.9974	6.6708	0.9973	6.6748	0.9967	6.6765	0.9964
Distance S_1-S_6	22.3994	0.9961	22.4085	0.9957	22.3915	0.9964	22.4194	0.9952
Distance S_2-S_3	18.1140	0.9969	18.1004	0.9976	18.1066	0.9973	18.1036	0.9974
Distance S_2-S_4	19.4054	0.9974	19.4152	0.9969	19.4368	0.9958	19.4153	0.9969
Distance S_2-S_5	6.6825	0.9971	6.6869	0.9965	6.6647	0.9998	6.6869	0.9965
Distance S_2-S_6	22.3841	0.9964	22.3972	0.9958	22.4086	0.9953	22.4015	0.9956
Distance S_3-S_4	7.0380	0.9940	7.0425	0.9934	7.0401	0.9937	7.0425	0.9934
Distance S_3-S_5	22.4118	0.9977	22.3920	0.9985	22.3753	0.9993	22.4100	0.9977

Distance S 3-S 6	6.6188	0.9970	6.6393	0.9940	6.6437	0.9933	6.6381	0.9941
Distance S 4-S 5	22.3825	0.9984	22.3825	0.9984	22.3863	0.9983	22.3994	0.9977
Distance S 4-S 6	6.6420	0.9943	6.6510	0.9930	6.6324	0.9958	6.6502	0.9931
Distance S 5-S 6	25.2533	0.9972	25.2549	0.9971	25.2463	0.9974	25.2784	0.9962
		0.9965		0.9961		0.9966		0.9958

Tabla 31. Distancias entre esferas y factores de escala en tomografías definitivas en el patrón 2.

	Tomography 1 Master 2		Tomography 2 Master 2		Tomography 3 Master 2		Tomography 4 Master 2	
	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E	Dist. (mm)	F.E
Distance S 1-S 2	7.0289	0.9961	7.0281	0.9962	7.0278	0.9963	7.0284	0.9962
Distance S 1-S 3	19.4099	0.9960	19.4061	0.9962	19.4018	0.9964	19.4142	0.9957
Distance S 1-S 4	18.0804	0.9963	18.0762	0.9965	18.0963	0.9954	18.0857	0.9960
Distance S 1-S 5	6.6750	0.9982	6.6772	0.9979	6.6808	0.9974	6.6865	0.9965
Distance S 1-S 6	22.3395	0.9964	22.3455	0.9962	22.3471	0.9961	22.3526	0.9958
Distance S 2-S 3	18.0874	0.9962	18.0853	0.9963	18.0862	0.9962	18.0956	0.9957
Distance S 2-S 4	19.3940	0.9964	19.3916	0.9966	19.4159	0.9953	19.4028	0.9960
Distance S 2-S 5	6.6765	0.9996	6.6842	0.9984	6.6803	0.9990	6.6866	0.9980
Distance S 2-S 6	22.3364	0.9966	22.3452	0.9963	22.3475	0.9961	22.3524	0.9959
Distance S 3-S 4	7.0297	0.9959	7.0291	0.9960	7.0307	0.9958	7.0310	0.9958
Distance S 3-S 5	22.3896	0.9977	22.3848	0.9979	22.3798	0.9981	22.4020	0.9971
Distance S 3-S 6	6.6212	0.9968	6.6369	0.9945	6.6304	0.9955	6.6294	0.9956
Distance S 4-S 5	22.3791	0.9978	22.3725	0.9981	22.3905	0.9973	22.3920	0.9972
Distance S 4-S 6	6.6244	0.9954	6.6378	0.9934	6.6266	0.9951	6.6343	0.9939
Distance S 5-S 6	25.2053	0.9980	25.2045	0.9980	25.2037	0.9980	25.2221	0.9973
		0.9969		0.9966		0.9965		0.9962

Tabla 32. Medias de factores de escala en tomografías definitivas.

	Tomography 1		Tomography 2		Tomography 3		Tomography 4	
	Master 1	Master 2	Master 1	Master 2	Master 1	Master 2	Master 1	Master 2
	0.9965	0.9969	0.9961	0.9966	0.9966	0.9965	0.9958	0.9962
Scale factor	0.9967		0.9963		0.9965		0.9960	

Los factores de escala revelan que, para las diferentes tomografías, se mantienen constantes entre sí y coinciden con los obtenidos en los apartados anteriores. Se confirma de nuevo que los factores de escala establecidos son constantes a lo largo de

todo el rango de escala de grises correspondiente al material RP y que los datos medidos en cualquiera de los componentes de las tomografías están escalados por el factor correspondiente a cada una de ellas. Con esto, una vez obtenidas de las nubes de puntos las medidas que se necesitan del encapsulado en la imagen definitiva se aplican estos factores de escala obtenidos contra patrón en cada una de las tomografías para obtener medidas de encapsulado corregidas.

3.1.6. CONCLUSIONES DE MÉTODOS DE CORRECCIÓN

Se han aplicado dos métodos de corrección. El primero se basa en obtención del factor de escala de las imágenes. Se ha observado que este factor es constante para todos los valores de ISO analizados. El segundo se basa la obtención del valor ISO que, combinado con el factor de escala, obtenga una imagen en la que sus medidas correspondan con dimensiones de pieza real.

Cuando se representa una imagen CT y no se aplica ningún factor de corrección, se pasa por alto los dos métodos de corrección que en este trabajo se muestran. En este caso, en la siguiente tabla se muestran los resultados del patrón 2 en la tomografía 4, el factor de escala no se aplicaría y el valor ISO aplicado a la imagen definitiva sería el valor de ISO 50, como valor habitual de THRESHOLD en primera aproximación por tratarse del valor medio.

Tabla 33. Resumen de corrección de errores en Tomografía 4 Patrón 2.

	Nominal	ISO 50 without Scale Factor		ISO 59 without Scale Factor		ISO 59 with Scale Factor	
	Diameter (mm)	Diameter (mm)	Error (mm)	Diameter (mm)	Error (mm)	Diameter (mm)	Error (mm)
Sphere 1	4.9530	4.9110	0.0420	4.9570	0.0040	4.9372	0.0158
Sphere 2	4.9693	4.9140	0.0553	4.9650	0.0043	4.9452	0.0241
Sphere 3	4.9691	4.9440	0.0251	4.9780	0.0089	4.9582	0.0109
Sphere 4	4.9544	4.9170	0.0374	4.9710	0.0166	4.9512	0.0032
Sphere 5	3.9750	3.9430	0.0320	3.9820	0.0070	3.9661	0.0089
Sphere 6	3.9787	3.9590	0.0197	4.0010	0.0223	3.9850	0.0063
P_2-P_3	3.9023	3.9118	0.0095	3.9097	0.0074	3.8941	0.0082
P_3-P_4	3.1591	3.1774	0.0183	3.1414	0.0177	3.1289	0.0302
P_4-P_5	3.8811	3.8723	0.0088	3.9490	0.0679	3.9333	0.0522
P_5-P_6	7.0889	7.1636	0.0747	7.1530	0.0641	7.1245	0.0356
			0.0323		0.0220		0.0195

En la tabla 33, se observa como resultado final en cada situación la media de error respecto a las medidas nominales del patrón. Después de aplicar los dos métodos de corrección, el error se ve reducido al 60,37% del error inicial.

3.1.7. ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN

Al someter el encapsulado a ensayos en incubadora durante 24h a temperatura de 37°C, se observa que la pieza se deforma en la parte central deshaciendo la hermeticidad generada con los o-rings. Lo que provoca que el ensayo no sea válido ya que se derrama parte de los fluidos aplicados y no existe control sobre estos. Estos o-rings cumplen el objetivo de comunicar herméticamente los microconductos de la parte inferior del encapsulado con los de la parte superior y sellar herméticamente gracias a la deformación de estos. Para el éxito de los ensayos se necesita controlar esta deformación y minimizarla rediseñando el encapsulado. Para esto es imprescindible conocer la deformación que se obtiene con el diseño actual con las distintas sollicitaciones, por lo que es necesario, conocer qué deformación pertenece a cada sollicitación de esfuerzos, caracterizando así el comportamiento del encapsulado en la zona de interés.

La deformación de la tomografía 1 será debida exclusivamente a la resistencia de deformación que tengan los o-rings de silicona, ya que el encapsulado de esta tomografía no ha sido ensayado en incubadora. La deformación en la tomografía 2 será prácticamente ya que pertenece a la pieza recién fabricada, es decir, sin ensayar ni montar componentes. Por el contrario, la tomografía 3, solo nos dará la deformación generada por el ensayo en la incubadora y por último la tomografía 4 nos dará la deformación provocada por ambos, es decir, por los o-rings y por el ensayo durante 24h a 37°C.

La zona de deformación que se analiza en el encapsulado es la zona periférica, ya que la diversidad de materiales presentes en la zona central (chip, o-rings y el propio encapsulado) hace que la precisión de medición disminuya considerablemente respecto al análisis en la zona donde solo existe material de RP. Como se ha explicado en apartados anteriores, la imagen depende del valor de THRESHOLD elegido. En este caso se ha elegido un valor de THRESHOLD correspondiente a la zona de material RP, este valor no coincide con valores de THRESHOLD de elementos de otros materiales por lo que las imágenes de las tomografías 1 y 4 donde se tomografían más materiales que los de RP, se obtienen con ruido en la parte donde están ubicados estos elementos y por lo tanto se disminuye drásticamente la precisión de medición. Dado que en la zona periférica también existe deformación, el trabajo consiste en analizarla de la forma más precisa, para minimizarla en posteriores diseños, consiguiendo así reducirla en la parte central.

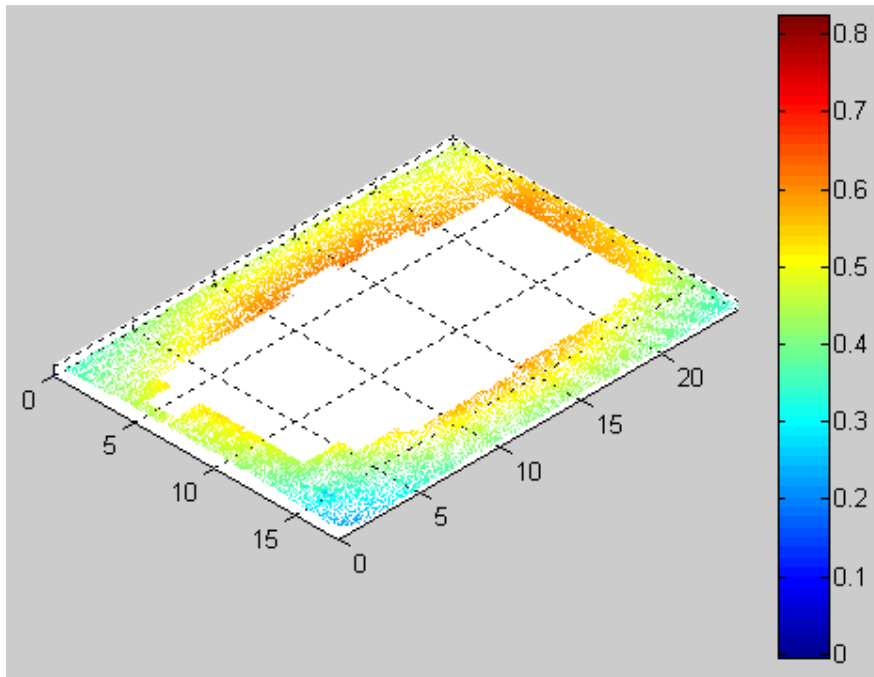


Figura 11. Deformación tomografía 1.

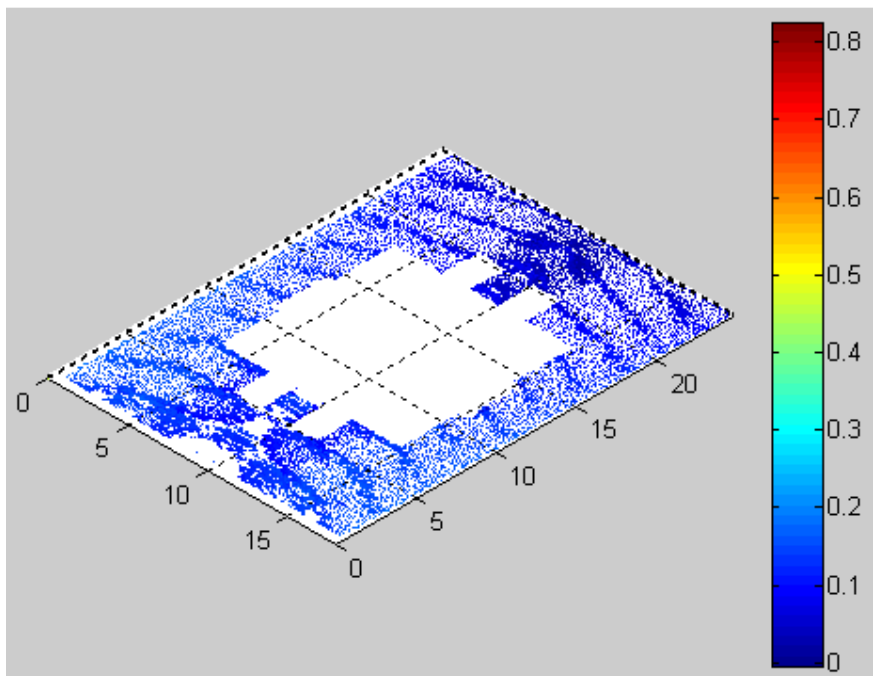


Figura 12. Deformación tomografía 2.

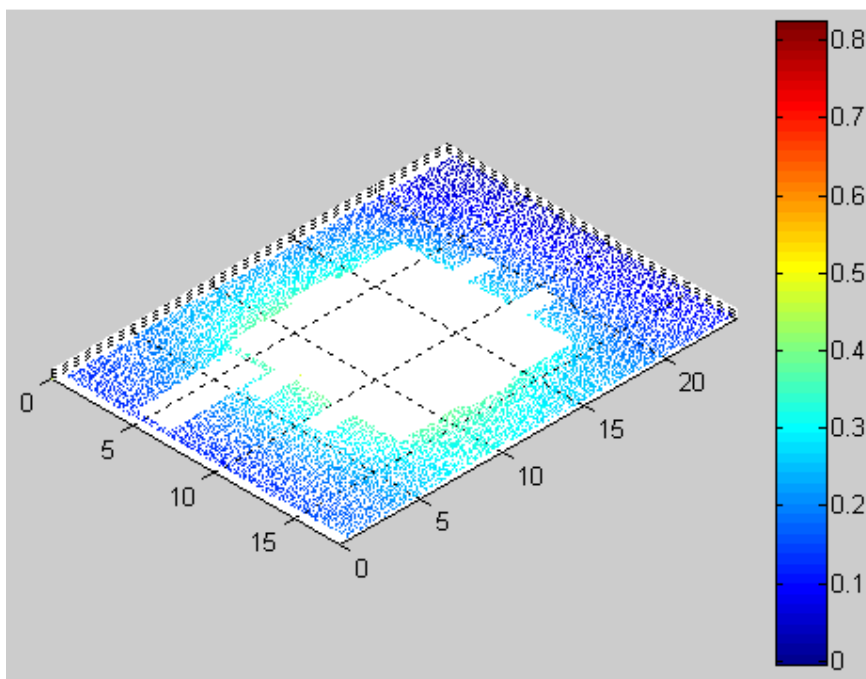


Figura 13. Deformación tomografía 3.

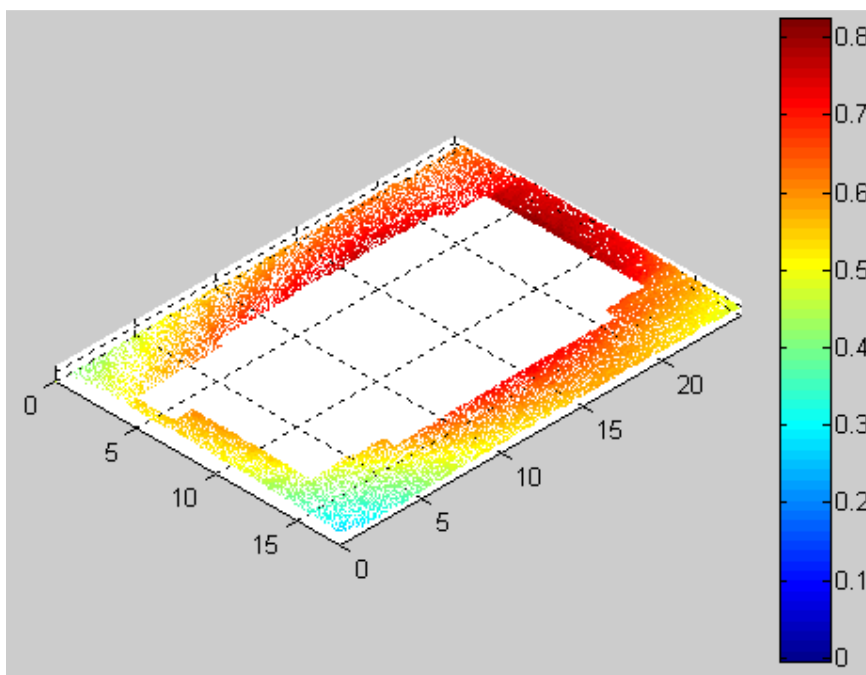


Figura 14. Deformación tomografía 4.

En la tabla 34 se describe la deformación de cada tomografía en una rejilla, de modo que es posible su análisis en puntos concretos y comparables entre las diferentes

tomografías. Es preciso señalar, que la deformación mostrada pertenece a la diferencia de altura entre la cara inferior de la parte superior del encapsulado y la cara superior de la parte inferior.

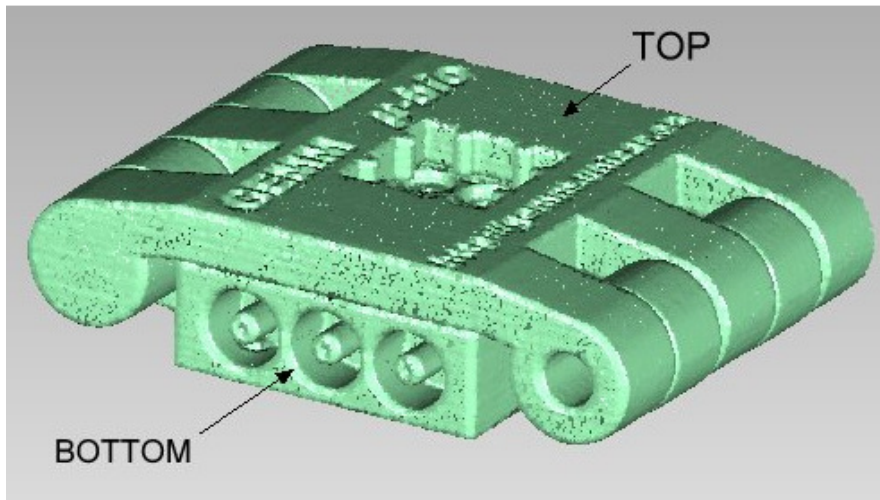


Figura 15. Encapsulado.

Tabla 34. Valores de deformación por Tomografía.

Tomografía 1								
	Without Scale Factor				With Scale Factor			
	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm
1 cm	0.3707	0.3741	0.4758	0.4749	0.3695	0.3729	0.4742	0.4733
2 cm	0.3942	0.4132	0.5031	0.5051	0.3929	0.4118	0.5014	0.5035
8 cm	0.4713	0.4977	0.5979	0.5838	0.4698	0.4960	0.5959	0.5818
9 cm	0.4756	0.4924	0.6002	0.5775	0.4741	0.4908	0.5982	0.5756
10 cm	0.4672	0.4952	0.5883	0.5585	0.4656	0.4936	0.5863	0.5567
16 cm	0.2757	0.3056	0.4036	0.4058	0.2748	0.3046	0.4023	0.4044
17 cm	0.2383	0.2610	0.3789	0.3573	0.2375	0.2601	0.3776	0.3561
Tomografía 2								
	Without Scale Factor				With Scale Factor			
	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm
1 cm	0.1567	0.1576	0.0963	0.0963	0.1561	0.1570	0.0960	0.0960
2 cm	0.1462	0.1593	0.0963	0.0963	0.1456	0.1588	0.0960	0.0960
8 cm	0.1139	0.1212	0.0595	0.0255	0.1135	0.1207	0.0593	0.0254
9 cm	0.1438	0.1136	0.0595	0.0204	0.1433	0.1132	0.0593	0.0204
10 cm	0.1438	0.1190	0.0198	0.0483	0.1433	0.1186	0.0197	0.0482
16 cm	0.1304	0.1465	0.0837	0.0617	0.1299	0.1460	0.0834	0.0615
17 cm	0.1517	0.1592	0.0836	0.0723	0.1511	0.1586	0.0833	0.0720
Tomografía 3								
	Without Scale Factor				With Scale Factor			
	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm

	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm
1 cm	0.1399	0.1366	0.0463	0.0376	0.1394	0.1361	0.0461	0.0374
2 cm	0.1363	0.1493	0.0529	0.0426	0.1359	0.1488	0.0527	0.0425
8 cm	0.1276	0.1553	0.0835	0.0595	0.1272	0.1548	0.0833	0.0593
9 cm	0.1314	0.1618	0.0802	0.0565	0.1310	0.1613	0.0799	0.0563
10 cm	0.1350	0.4952	0.0881	0.0617	0.1345	0.4935	0.0878	0.0615
16 cm	0.1682	0.1786	0.0952	0.0880	0.1676	0.1780	0.0948	0.0877
17 cm	0.1778	0.1855	0.1101	0.0939	0.1772	0.1849	0.1097	0.0936
Tomografía 4								
	Without Scale Factor				With Scale Factor			
	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm	1 cm	2 cm	23 cm	24 cm
1 cm	0.4258	0.4446	0.6284	0.6319	0.4241	0.4428	0.6259	0.6293
2 cm	0.4627	0.4849	0.6674	0.6578	0.4608	0.4829	0.6648	0.6552
8 cm	0.5397	0.5892	0.7905	0.7731	0.5375	0.5868	0.7873	0.7701
9 cm	0.5315	0.5671	0.7872	0.7463	0.5294	0.5648	0.7841	0.7433
10 cm	0.5267	0.5741	0.7853	0.7535	0.5246	0.5718	0.7821	0.7505
16 cm	0.3194	0.3533	0.5514	0.5477	0.3181	0.3519	0.5492	0.5455
17 cm	0.2839	0.3116	0.5194	0.5128	0.2828	0.3104	0.5173	0.5107

Como se observa en la tabla 34, la deformación pertenece a puntos de la zona periférica y en ella se representa tanto los resultados sin aplicar el método de corrección del factor de escala como los resultados con dicho método aplicado. Destacado, se señala aquel punto donde la deformación es máxima en la tomografía 4, que es la que mayor deformación presenta. De esta forma se compara la deformación entre tomografías, y se observa que los resultados son coherentes debido a que la tomografía que mayor deformación presenta es aquella que lleva todos sus componentes y fue sometida a ensayo, seguida por aquella que únicamente lleva todos sus componentes sin ser sometida a ensayo. Posteriormente, podemos observar que la tomografía 3, cuyo encapsulado no lleva ningún componente y fue sometido a ensayo presenta una deformación mayor que el de la tomografía 2 que tampoco lleva ningún componente y no fue sometido a ensayo. Por lo tanto, se puede decir que el material es viscoelástico ya que después de que se produzca deformación, el material no recupera totalmente su estado original.

Para comprobar la exactitud de la medida de deformación y que los métodos aplicados, que mejoran las medidas de los patrones, también mejoran las medidas del encapsulado se analizan dos medidas características de este. Dichas medidas se pueden apreciar en la Fig.16.

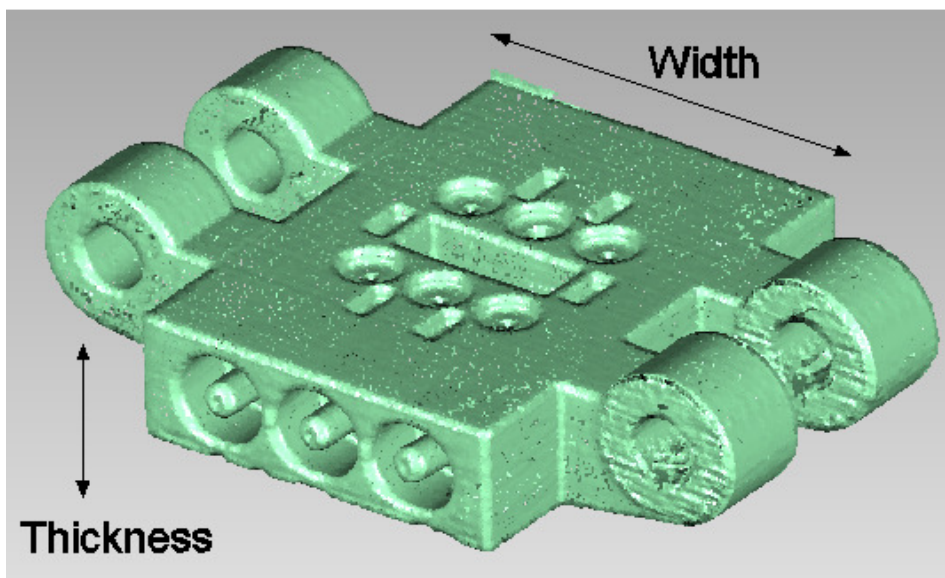


Figura 16. Medidas del encapsulado.

Tabla 35. Valores de medidas características por Tomografía.

	Width			
	T1	T2	T3	T4
Without Scale Factor	18.1243	18.1297	18.1288	18.1229
With Scale Factor	18.0645	18.0627	18.0654	18.0504
	Thickness			
	T1	T2	T3	T4
Without Scale Factor	5.9836	5.9819	5.9816	5.9783
With Scale Factor	5.9638	5.9598	5.9607	5.9544

Una vez garantizada la medición precisa mediante CT de la deformación producida en la región de soporte del chip, es posible afrontar un trabajo de optimización geométrica del encapsulado y sus componentes para controlar dicha deformación de modo que no supere los límites admisibles del ensayo. Estos límites son aquellos que hagan que los o-rings cumplan la función que deben desempeñar: sellado hermético de la conexión entre los microconductos de la parte superior e inferior del encapsulado. Por lo tanto, el objetivo será diseñar un encapsulado que su deformación máxima haga que los o-rings trabajen, es decir se mantengan comprimidos a lo largo de todo el ensayo.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la capacidad de fabricar encapsulados de los chips de microfluidos con las tecnologías de RP. Se ha demostrado la posibilidad de que las tecnologías RP tienen en la fabricación de dispositivos para aplicaciones biomédicas como pieza final. El uso de estas tecnologías ofrece una libertad completa para el diseñador de la configuración de la prueba y la posibilidad de la optimización del diseño sistemático y rápido de sus componentes en relación con el comportamiento celular en una prueba en particular.

Aunque algunas de las tecnologías de la RP hoy en día son capaces de obtener piezas pequeñas dentro de la tolerancia necesaria, los materiales comúnmente utilizados en estas tecnologías de fabricación, junto con las condiciones de ensayo, trae problemas de deformación de las piezas que encapsulan los chips que afectan al funcionamiento de estas pruebas. Con el fin de obtener un diseño óptimo del embalaje virutas, es necesario conocer los mecanismos exactos de estas deformaciones y su efecto sobre las dimensiones de las piezas.

Se ha presentado la idoneidad de la TC como técnica de verificación dimensional para este tipo de piezas pequeñas con geometría compleja debido a su capacidad de medición sin contacto y la capacidad de capturar geometría interior y exterior frente a las técnicas de medición convencionales, dando como resultado la reconstrucción 3D de la medida pieza. El análisis presentado muestra los beneficios del uso de piezas patrón del mismo material y características geométricas similares a las de la pieza a comprobar. Dos técnicas de corrección se han presentado. Estas técnicas son aplicables directamente en las imágenes de TC y en el mundo en el archivo STL, finalmente reconstruida con el fin de reducir la incertidumbre de la medición mediante la mejora de la precisión global de la reconstrucción. Finalmente, se ha demostrado el flujo de trabajo en el análisis de caracterización dimensional a través nube de puntos y la comparación contra nominal de CAD.

5. REFERENCIAS

- [1] M. Koç, T. Özel, Micro-Manufacturing: Design and Manufacturing of Micro-Products, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [2] P. S. D'Urso et al., Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: a prospective trial, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 27 (1), 30-37, 1999
- [3] A. Müller et al., The Application of Rapid Prototyping Techniques in Cranial Reconstruction and Preoperative Planning in Neurosurgery, *Journal of Craniofacial Surgery*, 14 (6), 89-914, 2003.
- [4] H. Zenha et al., The application of 3-D biomodeling technology in complex mandibular reconstruction—experience of 47 clinical cases, *European Journal of Plastic Surgery*, 34 (4), 257-265, 2011.
- [5] C. Herlin, M. Koppe, J.L. Béziat, A. Gleizal, Rapid prototyping in craniofacial surgery: Using a positioning guide after zygomatic osteotomy – A case report, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 39 (5), 376-379, 2011.
- [6] Wai-Yee Yeong, Chee-Kai Chua, Kah-Fai Leong, Margam Chandrasekaran, Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential, *TRENDS in Biotechnology*, 22 (12), 643-652, 2004.
- [7] V. Calvo et al., A highly integrated vertical SU8 valve for stepwise in-series reactions, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 21, 065037, 9pp, 2011.
- [8] L.J. Fernández et al., Study of functional viability of SU-8-based microneedles for neural applications, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 19, 025007, 8pp, 2009.
- [9] K Kiekens et al., A test object with parallel grooves for calibration and accuracy assessment of industrial computed tomography (CT) metrology, *Measurement Science and Technology*, 22, 115502, 2011.
- [10] J. Kumar, A. Attridge, P.K.C. Wood, M.A. Williams, Analysis of the effect of cone-beam geometry and test object configuration on the measurement accuracy of a computed tomography scanner used for dimensional measurement, *Measurement Science and Technology*, 22, 035105, 2011.
- [11] A.K.M. Elshennawy, Performance evaluation of coordinate measuring machines”, PhD thesis, The Pennsylvania State University, University Park, PA., 1987.

6. LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de encapsulado microfluídico en 3D CAD. Detalles de los canales microfluidicos y encapsulados finales fabricados.	7
Figura 2. Set microfluídico abierto y cerrado.	8
Figura 3. Piezas patrón.	9
Figura 4. Representación 3D CAD del conjunto encapsulado-piezas patrón.	10
Figura 5. Conjunto encapsulado-piezas patrón. Máquina de tomografía. Imagen CT del encapsulado.	11
Figura 6. Histograma de la tomografía 1.	13
Figura 7. Imágenes CT del encapsulado.	14
Figura 8. Selección de puntos de la esfera S4 en la pieza patrón 2 en la tomografía 2 e ISO 60.	15
Figura 9. Distancia entre S2-S4 para ISO-40 en tomografía 1 y patrón 1.	16
Figura 10. Ejemplo de los diferentes valores de THRESHOLD.	28
Figura 11. Deformación tomografía 1.	38
Figura 12. Deformación tomografía 2.	38
Figura 13. Deformación tomografía 3.	39
Figura 14. Deformación tomografía 4.	39
Figura 15. Encapsulado.	40
Figura 16. Medidas del encapsulado.	42

7. LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Medidas obtenidas mediante CMM de medidas de piezas patrón.	9
Tabla 2. Valores de THRESHOLD para cada una de las tomografías.	13
Tabla 3. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 1.....	16
Tabla 4. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 2.....	17
Tabla 5. .Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 2 y patrón 1.....	17
Tabla 6. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 1 y patrón 2.....	18
Tabla 7. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 3 y patrón 1.....	18
Tabla 8. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 3 y patrón 2.....	19
Tabla 9. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 4 y patrón 1.....	19
Tabla 10. Tabla de coordenadas de datos de esferas para tomografía 4 y patrón 2.	20
Tabla 11. Factores de escala en Tomografía 1 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.	20
Tabla 12. Factores de escala en Tomografía 1 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.	21
Tabla 13. Factores de escala en Tomografía 2 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.	22
Tabla 14. Factores de escala en Tomografía 2 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.	22
Tabla 15. Factores de escala en Tomografía 3 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.	23
Tabla 16. Factores de escala en Tomografía 3 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.	24
Tabla 17. Factores de escala en Tomografía 4 a partir de distancias entre esferas. Patrón 1.	24
Tabla 18. Factores de escala en Tomografía 4 a partir de distancias entre esferas. Patrón 2.	25
Tabla 19. Resumen de factores de escala.	26
Tabla 20. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 1 patrón 1	29
Tabla 21. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 1 patrón 2	29
Tabla 22. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 2 patrón 1	30
Tabla 23. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 2 patrón 2	30
Tabla 24. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 3 patrón 1	31
Tabla 25. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 3 patrón 2	31
Tabla 26. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 4 patrón 1	31
Tabla 27. Medidas obtenidas para cada ISO de la tomografía 4 patrón 2	32
Tabla 28. Resumen para todas las medidas de todos los patrones de cada tomografía	33
Tabla 29. Valores de THRESHOLD definitivos para cada tomografía.	33
Tabla 30. Distancias entre esferas y factores de escala en tomografías definitivas en el patrón 1.	34

Tabla 31. Distancias entre esferas y factores de escala en tomografías definitivas en el patrón 2.	35
Tabla 32. Medias de factores de escala en tomografías definitivas.....	35
Tabla 33. Resumen de corrección de errores en Tomografía 4 Patrón 2.	36
Tabla 34. Valores de deformación por Tomografía.....	40
Tabla 35. Valores de medidas características por Tomografía.	42

ANEXO I

RESULTADOS DE MEDICIONES EXPERIMENTALES

Tomografía 1 –Patrón 1

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.99594464		1.7316165882			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.892	22	4.87216118	0.085	1.7474549096	7.353	17.593	44.879
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.888	21	4.868177402	0.090	1.8461241425	7.111	24.637	44.995
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.874	15	4.854234177	0.103	2.1232148991	7.634	24.995	26.92
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.892	18	4.87216118	0.088	1.8151866590	7.865	17.957	26.798
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.917	23	3.901115156	0.070	1.7901251624	11.538	21.194	48.659
Diameter S_6	4,000	3.979	3.953	14	3.936969163	0.042	1.0675937563	12.191	21.702	23.403
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.858	28	2.846409782	0.011	0.3759198042			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.863	27	2.851389505	0.013	0.4611960188			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.871	24	2.859357062	0.012	0.4096353656			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.049110	-	7.020523621	-0.022	-0.3108106273			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.426638	-	19.34785553	0.026	0.1338891739			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.091910	-	18.01854062	0.037	0.2054038582			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.691026	-	6.663891264	-0.011	-0.1689027645			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.394390	-	22.30357264	0.008	0.0362687975			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.086108	-	18.01276275	0.045	0.2472565754			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.399014	-	19.32034353	0.036	0.1837699509			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.699065	-	6.67189804	-0.008	-0.1272750574			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.374876	-	22.28413812	0.019	0.0870127632			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.042847	-	7.014285378	-0.019	-0.2641815141			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.411447	-	22.32056011	0.039	0.1732914092			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.631696	-	6.604801724	-0.006	-0.0847264649			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.402509	-	22.31165898	0.036	0.1604764606			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.653219	-	6.626238024	-0.022	-0.3304441048			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.269547	-	25.16706996	0.015	0.0589715440			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.127841	-	11.0827131	-0.090	-0.8117966528			
pto1	-	-	11.374277	-	-					
pto2	-	-	11.115018	-	-					
pto3	-	-	11.139966	-	-					

pto4	-	-	10.882101	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.785625	-	3.770272929	0.126	3.3314314184
pto1	-	-	3.818978	-	-		
pto2	-	-	3.817264	-	-		
pto3	-	-	3.753966	-	-		
pto4	-	-	3.752292	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.030429	-	7.001918081	0.064	0.9200124546
pto1	-	-	7.050559	-	-		
pto2	-	-	7.052233	-	-		
pto3	-	-	7.008619	-	-		
pto4	-	-	7.010305	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.156053	-	7.127032382	-0.057	-0.8020891257
pto1	-	-	7.132383	-	-		
pto2	-	-	7.122154	-	-		
pto3	-	-	7.189940	-	-		
pto4	-	-	7.179734	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.826285	-	3.810767789	0.089	2.3260359093
pto1	-	-	3.860839	-	-		
pto2	-	-	3.787221	-	-		
pto3	-	-	3.835323	-	-		
pto4	-	-	3.821756	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.203983	-	7.174768258	-0.078	-1.0857665453
pto1	-	-	7.168029	-	-		
pto2	-	-	7.209090	-	-		
pto3	-	-	7.198903	-	-		
pto4	-	-	7.239910	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.338609	-	3.325069989	-0.155	-4.6498381989
pto1	-	-	3.331192	-	-		
pto2	-	-	3.334580	-	-		
pto3	-	-	3.342634	-	-		
pto4	-	-	3.346031	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996483317		0.8714472454			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.929	15	4.911666271	0.046	0.9290885555	7.363	17.593	44.882
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.924	13	4.906683854	0.051	1.0468607173	7.117	24.629	44.999
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.915	13	4.897715504	0.060	1.2165773123	7.634	24.991	26.917
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.924	16	4.906683854	0.054	1.0988306439	7.875	17.953	26.794
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.948	16	3.934116137	0.037	0.9362678214	11.544	21.194	48.643
Diameter S_6	4,000	3.979	3.993	14	3.978957886	0.000	0.0010584220	12.189	21.701	23.405
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.903	28	2.89279107	-0.036	-1.2334478763			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.899	27	2.888805137	-0.024	-0.8399713930			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.903	23	2.89279107	-0.022	-0.7508689529			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.041271	-	7.016509346	-0.018	-0.2537766016			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.430519	-	19.36218806	0.012	0.0597667616			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.098826	-	18.03517777	0.020	0.1129660467			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.677805	-	6.654321531	-0.002	-0.0253333555			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.392576	-	22.31382862	-0.002	-0.0097103069			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.093011	-	18.02938389	0.028	0.1548394348			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.405297	-	19.33705507	0.019	0.0971887602			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.684032	-	6.660526844	0.003	0.0432328212			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.374074	-	22.29539185	0.008	0.0364932433			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.043199	-	7.018430434	-0.023	-0.3230850810			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.399205	-	22.32043411	0.039	0.1738568740			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.626181	-	6.602878399	-0.004	-0.0556225637			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.390722	-	22.31198119	0.035	0.1590300415			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.644052	-	6.620686529	-0.016	-0.2468704412			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.251331	-	25.16253009	0.019	0.0770243665			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.201086	-	11.16169533	-0.169	-1.5136708119			
pto1	-	-	11.449659	-	-					
pto2	-	-	11.502082	-	-					
pto3	-	-	10.900003	-	-					
pto4	-	-	10.9526	-	-					
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.830343	-	3.816873148	0.079	2.0698575689			

pto1	-	-	3.888923	-	-		
pto2	-	-	3.849052	-	-		
pto3	-	-	3.811541	-	-		
pto4	-	-	3.771857	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.049460	-	7.024669535	0.042	0.5931533830
pto1	-	-	7.106205	-	-		
pto2	-	-	7.086647	-	-		
pto3	-	-	6.992778	-	-		
pto4	-	-	7.012211	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.094631	-	7.069681683	0.000	0.0026245515
pto1	-	-	7.082104	-	-		
pto2	-	-	7.079739	-	-		
pto3	-	-	7.107153	-	-		
pto4	-	-	7.109529	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.875686	-	3.862056193	0.037	0.9671382663
pto1	-	-	3.864962	-	-		
pto2	-	-	3.842282	-	-		
pto3	-	-	3.909069	-	-		
pto4	-	-	3.886430	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.166436	-	7.141233918	-0.044	-0.6212777045
pto1	-	-	7.144128	-	-		
pto2	-	-	7.174551	-	-		
pto3	-	-	7.158342	-	-		
pto4	-	-	7.188723	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.223023	-	3.211688152	-0.041	-1.2837030371
pto1	-	-	3.217024	-	-		
pto2	-	-	3.237337	-	-		
pto3	-	-	3.208728	-	-		
pto4	-	-	3.229001	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1								
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Factor corrección ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
						0.996604334					
						25.61535558		0.1860492448			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.956	16	4.939171079		0.018	0.3670437983	7.367	17.598	44.888
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.956	14	4.939171079		0.019	0.3822285325	7.117	24.632	45.006
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.943	14	4.926215223		0.031	0.6310072961	7.637	24.992	26.918
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.949	16	4.932194849		0.028	0.5759130031	7.88	17.958	26.797
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.978	16	3.96449204		0.006	0.1628950099	11.542	21.196	48.638
Diameter S_6	4,000	3.979	4.033	15	4.019305279		-0.040	-1.0027921711	12.189	21.702	23.397
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.928	23	2.91805749		-0.061	-2.0886322462			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.93	27	2.920050698		-0.056	-1.9010183074			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.942	30	2.93200995		-0.061	-2.0784360012			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.039430	-	7.01552682	0.994214406	-0.017	-0.2398071180			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.433606	-	19.36761581	0.996920509	0.006	0.0317251886			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.101852	-	18.04038427	0.997442211	0.015	0.0840731940			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.666238	-	6.643601676	0.997959535	0.009	0.1359818368			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.404410	-	22.32833196	0.99586028	-0.017	-0.0746588947			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.099054	-	18.03759533	0.997693074	0.020	0.1092449205			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.408558	-	19.34265308	0.997284211	0.013	0.0682193661			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.676687	-	6.65401488	0.998010944	0.009	0.1411403193			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.388813	-	22.31278846	0.996190721	-0.009	-0.0415021767			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.039236	-	7.015333285	0.993823016	-0.020	-0.2790794270			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.392343	-	22.31630644	0.998521654	0.043	0.1923852595			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.628895	-	6.606385191	0.995521275	-0.007	-0.1086748971			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.381335	-	22.30533574	0.998486625	0.042	0.1888704978			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.644172	-	6.621610268	0.994005326	-0.017	-0.2607863752			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.254361	-	25.16860516	0.997131222	0.013	0.0528683063			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	10.919174	-	10.88209588	1.006737713	0.111	1.0167905986			
pto1	-	-	11.08884	-	-						
pto2	-	-	10.607448	-	-						
pto3	-	-	11.230319	-	-						
pto4	-	-	10.750088	-	-						

Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.957747	-	3.944307564	0.984367427	-0.048	-1.2278600749
pto1	-	-	3.975924	-	-	0.999596008		
pto2	-	-	3.930079	-	-			
pto3	-	-	3.985360	-	-			
pto4	-	-	3.939624	-	-			
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.069193	-	7.045187883	0.999596008	0.021	0.3001867009
pto1	-	-	7.128594	-	-	1.003868798		
pto2	-	-	7.106002	-	-			
pto3	-	-	7.032370	-	-			
pto4	-	-	7.009804	-	-			
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.042621	-	7.018706362	1.003868798	0.051	0.7289216277
pto1	-	-	7.069753	-	-	0.991887195		
pto2	-	-	7.064404	-	-			
pto3	-	-	7.020838	-	-			
pto4	-	-	7.015488	-	-			
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.931302	-	3.917952113	0.991887195	-0.019	-0.4733211673
pto1	-	-	3.917189	-	-	0.995043899		
pto2	-	-	3.888578	-	-			
pto3	-	-	3.973984	-	-			
pto4	-	-	3.945455	-	-			
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.132215	-	7.107996379	0.995043899	-0.011	-0.1565751404
pto1	-	-	7.116869	-	-	1.010338894		
pto2	-	-	7.136226	-	-			
pto3	-	-	7.128208	-	-			
pto4	-	-	7.147557	-	-			
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.138016	-	3.127360345	1.010338894	0.043	1.3781356740
pto1	-	-	3.152709	-	-			
pto2	-	-	3.175970	-	-			
pto3	-	-	3.100109	-	-			
pto4	-	-	3.123276	-	-			

Tomografía 1 – Patrón 2

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996838138		2.1613129842			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.858	13	4.842639674	0.110	2.2778966340	22.141	30.161	38.884
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.875	12	4.859585922	0.110	2.2566547755	29.168	30.351	38.937
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.901	13	4.885503714	0.084	1.7100854097	29.681	12.273	38.885
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.888	14	4.872544818	0.082	1.6789005550	22.653	12.091	38.817
Diameter S_5	4,000	3.975	3.864	34	3.851782565	0.123	3.1989717259	25.517	33.823	43.318
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.919	25	3.906608662	0.072	1.8453688055	26.228	8.616	43.19
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.795	34	2.786162595	0.087	3.1278649975			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.794	35	2.785165757	0.087	3.1245624253			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.804	37	2.795134139	0.066	2.3725466495			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.029768	-	7.007540833	-0.006	-0.0846811586			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.412165	-	19.35078628	-0.019	-0.0992290387			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.077376	-	18.0202181	-0.007	-0.0383094024			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.668431	-	6.64734664	0.016	0.2379122619			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.347980	-	22.27731921	-0.018	-0.0797157144			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.085352	-	18.02816861	-0.010	-0.0554941557			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.387811	-	19.32650966	-0.001	-0.0068393208			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.676657	-	6.65554613	0.018	0.2701196913			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.341482	-	22.27084167	-0.009	-0.0422783272			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.030685	-	7.008454974	-0.007	-0.1034794180			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.391804	-	22.32100417	0.017	0.0747904777			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.620414	-	6.599481274	0.001	0.0117765844			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.377250	-	22.3064963	0.023	0.1018100235			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.631695	-	6.610726527	-0.017	-0.2503381294			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.217350	-	25.13761647	0.016	0.0639556264			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.268141	-	11.23251294	-0.240	-2.1345974187			
pto1	-	-	11.528724	-	-					
pto2	-	-	11.093616	-	-					
pto3	-	-	11.441419	-	-					

pto4	-	-	11.008806	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.850786	-	3.838610346	0.042	1.1063667566
pto1	-	-	3.866218	-	-		
pto2	-	-	3.860337	-	-		
pto3	-	-	3.841102	-	-		
pto4	-	-	3.835487	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.071303	-	7.048944764	0.017	0.2467296343
pto1	-	-	7.120142	-	-		
pto2	-	-	7.095766	-	-		
pto3	-	-	7.046590	-	-		
pto4	-	-	7.022715	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.039113	-	7.016856046	0.053	0.7554834208
pto1	-	-	7.051379	-	-		
pto2	-	-	7.053079	-	-		
pto3	-	-	7.025081	-	-		
pto4	-	-	7.026912	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.828493	-	3.816387833	0.086	2.2498621500
pto1	-	-	3.817316	-	-		
pto2	-	-	3.837514	-	-		
pto3	-	-	3.819525	-	-		
pto4	-	-	3.839617	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.199738	-	7.176973172	-0.088	-1.2272961290
pto1	-	-	7.200182	-	-		
pto2	-	-	7.189191	-	-		
pto3	-	-	7.210222	-	-		
pto4	-	-	7.199356	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.217961	-	3.207786251	-0.049	-1.5184643644
pto1	-	-	3.234031	-	-		
pto2	-	-	3.215532	-	-		
pto3	-	-	3.220436	-	-		
pto4	-	-	3.201845	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.99682965		1.0653911228			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.913	13	4.897424068	0.056	1.1337783039	22.143	30.16	38.871
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.919	11	4.903405046	0.066	1.3428414137	29.169	30.357	38.93
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.934	13	4.918357491	0.051	1.0306796322	29.68	12.273	38.885
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.923	15	4.907392365	0.047	0.9568754962	22.654	12.091	38.818
Diameter S_5	4,000	3.975	3.931	20	3.918537353	0.056	1.4409112983	25.521	33.828	43.315
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.972	11	3.959407368	0.019	0.4872605927	26.228	8.621	43.186
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.871	31	2.861897924	0.000	-0.0156512915			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.873	27	2.863891583	0.008	0.2897601558			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.887	30	2.877847198	-0.005	-0.1576594610			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.029009	-	7.006724471	-0.005	-0.0730398904			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.410083	-	19.34854654	-0.017	-0.0876647665			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.076302	-	18.01899371	-0.006	-0.0315169635			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.679389	-	6.658213488	0.005	0.0743142949			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.343567	-	22.27272972	-0.013	-0.0591262662			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.091274	-	18.03391852	-0.016	-0.0873602968			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.393414	-	19.33193056	-0.007	-0.0348785395			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.677123	-	6.655954064	0.018	0.2639742749			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.343158	-	22.27232244	-0.011	-0.0489239810			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.028676	-	7.006392825	-0.005	-0.0740774783			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.395093	-	22.32409305	0.014	0.0609435964			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.614530	-	6.593559764	0.007	0.1015946527			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.381686	-	22.31072819	0.018	0.0828227600			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.625240	-	6.604235287	-0.010	-0.1522951401			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.217243	-	25.13729539	0.016	0.0652337434			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.285525	-	11.24974568	-0.257	-2.2845109521			
pto1	-	-	11.5089	-	-					
pto2	-	-	11.19049	-	-					
pto3	-	-	11.522767	-	-					

pto4	-	-	10.919942	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.900607	-	3.888240709	-0.007	-0.1841772441
pto1	-	-	3.904546	-	-		
pto2	-	-	3.919895	-	-		
pto3	-	-	3.890651	-	-		
pto4	-	-	3.887336	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.076031	-	7.053597751	0.013	0.1806007206
pto1	-	-	7.116675	-	-		
pto2	-	-	7.096132	-	-		
pto3	-	-	7.054660	-	-		
pto4	-	-	7.036658	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.037460	-	7.015148786	0.055	0.7800040460
pto1	-	-	7.051997	-	-		
pto2	-	-	7.053767	-	-		
pto3	-	-	7.020545	-	-		
pto4	-	-	7.023531	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.867117	-	3.854856884	0.047	1.2294727346
pto1	-	-	3.859855	-	-		
pto2	-	-	3.877538	-	-		
pto3	-	-	3.856701	-	-		
pto4	-	-	3.874374	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.165164	-	7.142447919	-0.054	-0.7498474182
pto1	-	-	7.173601	-	-		
pto2	-	-	7.157252	-	-		
pto3	-	-	7.173045	-	-		
pto4	-	-	7.156758	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.177442	-	3.167368395	-0.008	-0.2617704826
pto1	-	-	3.192141	-	-		
pto2	-	-	3.176249	-	-		
pto3	-	-	3.178573	-	-		
pto4	-	-	3.162805	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996577812		0.2586188849			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.944	12	4.927080701	0.026	0.5250431426	22.145	30.164	38.869
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.963	12	4.946015679	0.023	0.4697583355	29.169	30.357	38.92
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.985	14	4.967940391	0.001	0.0223353942	29.684	12.276	38.863
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.965	14	4.948008835	0.006	0.1281559010	22.655	12.088	38.807
Diameter S_5	4,000	3.975	3.963	20	3.949437867	0.026	0.6472347054	25.521	33.825	43.318
Diameter S_6	4,000	3.9787	4.002	12	3.988304402	-0.010	-0.2408141691	26.229	8.625	43.185
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.923	28	2.912996943	-0.052	-1.7695502045			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.929	30	2.91897641	-0.047	-1.6028361885			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.942	33	2.931931922	-0.059	-1.9994298419			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.026836	-	7.002788973	-0.001	-0.0168819386			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.411777	-	19.34534662	-0.014	-0.0711382237			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.083299	-	18.02141502	-0.008	-0.0449484903			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.677866	-	6.65501336	0.008	0.1224360075			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.343577	-	22.26711307	-0.008	-0.0339171856			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.088423	-	18.02652069	-0.008	-0.0463575697			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.395910	-	19.32953357	-0.004	-0.0224822513			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.684110	-	6.661236127	0.012	0.1844694193			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.340852	-	22.26439697	-0.003	-0.0133443408			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.031737	-	7.007672771	-0.006	-0.0923288757			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.395022	-	22.31838167	0.019	0.0865496655			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.629216	-	6.606529967	-0.006	-0.0949287897			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.384375	-	22.30777149	0.021	0.0960878294			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.628177	-	6.605494029	-0.011	-0.1713220970			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.210295	-	25.12402021	0.030	0.1181068406			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.116857	-	11.07881302	-0.086	-0.7768793566			
pto1	-	-	11.14544	-	-					
pto2	-	-	11.07564	-	-					
pto3	-	-	11.158639	-	-					

pto4	-	-	11.087709	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.939734	-	3.92625099	-0.045	-1.1505004515
pto1	-	-	3.948701	-	-		
pto2	-	-	3.940596	-	-		
pto3	-	-	3.937622	-	-		
pto4	-	-	3.932015	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.079794	-	7.05556586	0.011	0.1526559266
pto1	-	-	7.114249	-	-		
pto2	-	-	7.093884	-	-		
pto3	-	-	7.062641	-	-		
pto4	-	-	7.048403	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.039514	-	7.015423457	0.054	0.7760582599
pto1	-	-	7.051489	-	-		
pto2	-	-	7.054287	-	-		
pto3	-	-	7.023098	-	-		
pto4	-	-	7.029182	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.904511	-	3.89114853	0.011	0.2853339772
pto1	-	-	3.895962	-	-		
pto2	-	-	3.911021	-	-		
pto3	-	-	3.898172	-	-		
pto4	-	-	3.912887	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.129724	-	7.105324741	-0.016	-0.2312953156
pto1	-	-	7.136270	-	-		
pto2	-	-	7.125588	-	-		
pto3	-	-	7.133809	-	-		
pto4	-	-	7.123229	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.141877	-	3.131125154	0.028	0.8927144197
pto1	-	-	3.155549	-	-		
pto2	-	-	3.143288	-	-		
pto3	-	-	3.140234	-	-		
pto4	-	-	3.128438	-	-		

Tomografía 2 – Patrón 1

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.995779443		1.4181466199			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.912	17	4.891268626	0.066	1.3499846233	6.526	15.592	44.861
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.901	14	4.880315052	0.078	1.5928264340	6.453	22.636	44.849
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.894	15	4.873344596	0.084	1.7227471332	6.935	22.649	26.761
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.9	17	4.879319272	0.081	1.6658210524	7.012	15.608	26.768
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.921	22	3.904451197	0.066	1.7031536397	10.826	19.163	48.558
Diameter S_6	4,000	3.979	3.977	16	3.960214846	0.019	0.4743468368	11.405	19.187	23.296
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.871	30	2.858882782	-0.002	-0.0620096014			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.874	27	2.86187012	0.003	0.0932914402			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.882	23	2.869836356	0.001	0.0429865732			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.044388	-	7.014657235	-0.016	-0.2274401683			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.431380	-	19.34936879	0.024	0.1260579874			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.099533	-	18.02314307	0.032	0.1798150939			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.701481	-	6.673197199	-0.021	-0.3081196322			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.400399	-	22.30585719	0.006	0.0260231249			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.094426	-	18.01805703	0.039	0.2178007380			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.406902	-	19.32499358	0.031	0.1596633741			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.703845	-	6.675551133	-0.012	-0.1819288743			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.381906	-	22.28744185	0.016	0.0721765820			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.041425	-	7.01170577	-0.016	-0.2274886819			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.414310	-	22.31970898	0.040	0.1771113398			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.631182	-	6.603194291	-0.004	-0.0604038319			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.405105	-	22.31054278	0.037	0.1654874837			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.645485	-	6.617437587	-0.013	-0.1978949789			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.268646	-	25.16199806	0.020	0.0791404435			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.017924	-	10.97142223	0.021	0.1943392749			
pto1	-	-	11.031267	-	-					
pto2	-	-	10.991214	-	-					
pto3	-	-	11.044573	-	-					

pto4	-	-	11.004642	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.824091	-	3.807951207	0.088	2.3090048621
pto1	-	-	3.831423	-	-		
pto2	-	-	3.842178	-	-		
pto3	-	-	3.816786	-	-		
pto4	-	-	3.805977	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.116366	-	7.086330626	-0.020	-0.2821492076
pto1	-	-	7.116312	-	-		
pto2	-	-	7.106558	-	-		
pto3	-	-	7.093088	-	-		
pto4	-	-	7.149505	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.054280	-	7.024507012	0.045	0.6457423786
pto1	-	-	7.035913	-	-		
pto2	-	-	7.065842	-	-		
pto3	-	-	7.072610	-	-		
pto4	-	-	7.042755	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.750150	-	3.734322528	0.165	4.4207506586
pto1	-	-	3.735274	-	-		
pto2	-	-	3.810791	-	-		
pto3	-	-	3.765107	-	-		
pto4	-	-	3.689429	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.193565	-	7.163204151	-0.066	-0.9260817621
pto1	-	-	7.184969	-	-		
pto2	-	-	7.214216	-	-		
pto3	-	-	7.172948	-	-		
pto4	-	-	7.202127	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.303852	-	3.289907656	-0.119	-3.6307414947
pto1	-	-	3.346204	-	-		
pto2	-	-	3.300456	-	-		
pto3	-	-	3.261543	-	-		
pto4	-	-	3.307204	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.995967825		0.4730525760			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.946	16	4.926056864	0.031	0.6342422970	6.538	15.591	44.866
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.941	13	4.921077025	0.037	0.7513187691	6.459	22.634	44.855
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.937	15	4.917093153	0.040	0.8176954427	6.934	22.649	26.764
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.941	17	4.921077025	0.040	0.8031366941	7.013	15.61	26.771
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.975	22	3.958972105	0.012	0.3025506173	10.823	19.16	48.559
Diameter S_6	4,000	3.979	4.014	16	3.997814851	-0.019	-0.4706283644	11.407	19.189	23.298
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.913	23	2.901254275	-0.044	-1.5215582928			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.913	28	2.901254275	-0.037	-1.2654621601			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.92	30	2.90822605	-0.037	-1.2776190419			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.043452	-	7.015051212	-0.016	-0.2330435581			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.433337	-	19.35497831	0.019	0.0970391363			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.101243	-	18.02825598	0.027	0.1514035413			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.688590	-	6.661620348	-0.009	-0.1348707922			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.401593	-	22.31126631	0.000	0.0017729457			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.097241	-	18.02426974	0.033	0.1832570829			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.408105	-	19.32984834	0.026	0.1345078892			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.695729	-	6.668730737	-0.005	-0.0798406702			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.384257	-	22.29400013	0.010	0.0427380882			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.039447	-	7.011062503	-0.015	-0.2183345276			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.412485	-	22.32211357	0.037	0.1663200490			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.632683	-	6.605938955	-0.007	-0.1019271598			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.401686	-	22.31135867	0.036	0.1618245943			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.646669	-	6.61986826	-0.016	-0.2345401529			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.267766	-	25.16588233	0.016	0.0636935337			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.037378	-	10.99287361	0.000	-0.0011789685			
pto1	-	-	11.04163	-	-					
pto2	-	-	11.03318	-	-					
pto3	-	-	11.01224	-	-					

pto4	-	-	11.062463	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.893178	-	3.877479777	0.018	0.4744630472
pto1	-	-	3.911813	-	-		
pto2	-	-	3.883543	-	-		
pto3	-	-	3.874508	-	-		
pto4	-	-	3.902847	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.071925	-	7.043410012	0.023	0.3255040962
pto1	-	-	7.080021	-	-		
pto2	-	-	7.086550	-	-		
pto3	-	-	7.063853	-	-		
pto4	-	-	7.057277	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.084692	-	7.056124786	0.014	0.1947590871
pto1	-	-	7.116520	-	-		
pto2	-	-	7.101971	-	-		
pto3	-	-	7.052813	-	-		
pto4	-	-	7.067462	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.905733	-	3.889984651	0.009	0.2422365610
pto1	-	-	3.915214	-	-		
pto2	-	-	3.932603	-	-		
pto3	-	-	3.896245	-	-		
pto4	-	-	3.878871	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.144027	-	7.115221284	-0.018	-0.2579576806
pto1	-	-	7.137558	-	-		
pto2	-	-	7.157916	-	-		
pto3	-	-	7.130158	-	-		
pto4	-	-	7.150477	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.178656	-	3.165839104	0.005	0.1459489981
pto1	-	-	3.183611	-	-		
pto2	-	-	3.151950	-	-		
pto3	-	-	3.173643	-	-		
pto4	-	-	3.205420	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996042183		-0.2912869071			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.979	16	4.959294027	-0.002	-0.0402078823	6.546	15.588	44.869
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.988	14	4.968258407	-0.010	-0.2054725401	6.452	22.637	44.862
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.974	16	4.954313816	0.003	0.0602744178	6.933	22.653	26.77
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.974	18	4.954313816	0.006	0.1268830365	7.015	15.611	26.773
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.992	17	3.976200393	-0.005	-0.1320454799	10.824	19.153	48.54
Diameter S_6	4,000	3.979	4.058	17	4.041939177	-0.063	-1.5571529948	11.41	19.193	23.293
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.947	23	2.935336312	-0.078	-2.6649863514			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.947	28	2.935336312	-0.071	-2.4118637375			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.972	35	2.960237367	-0.089	-3.0121694853			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.049630	-	7.021729054	-0.023	-0.3279244574			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.432905	-	19.35599307	0.018	0.0917914778			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.102091	-	18.03044643	0.025	0.1392365063			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.669839	-	6.643440824	0.009	0.1384063425			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.409335	-	22.32064299	-0.009	-0.0402367870			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.098400	-	18.02676979	0.031	0.1693631013			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.413747	-	19.33691077	0.019	0.0979357491			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.691810	-	6.665325255	-0.002	-0.0287889608			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.397872	-	22.30922511	-0.006	-0.0255362827			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.042478	-	7.014605202	-0.019	-0.2687288675			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.390239	-	22.30162204	0.058	0.2583564328			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.641134	-	6.614849394	-0.016	-0.2364934389			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.379824	-	22.291249	0.056	0.2521838744			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.652605	-	6.626274883	-0.022	-0.3309985321			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.253831	-	25.15388144	0.028	0.1114338421			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.067286	-	11.0234837	-0.031	-0.2788564282			
pto1	-	-	11.053386	-	-					
pto2	-	-	11.016924	-	-					
pto3	-	-	11.081293	-	-					

pto4	-	-	11.117541	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.959898	-	3.944225696	-0.048	-1.2258099235
pto1	-	-	3.999372	-	-		
pto2	-	-	3.962371	-	-		
pto3	-	-	3.920342	-	-		
pto4	-	-	3.957508	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.043594	-	7.015716741	0.051	0.7215208464
pto1	-	-	7.065518	-	-		
pto2	-	-	7.017459	-	-		
pto3	-	-	7.069679	-	-		
pto4	-	-	7.021720	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.114814	-	7.086655114	-0.017	-0.2368943289
pto1	-	-	7.150863	-	-		
pto2	-	-	7.113599	-	-		
pto3	-	-	7.078761	-	-		
pto4	-	-	7.116034	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	4.031237	-	4.015282349	-0.116	-2.8858427081
pto1	-	-	4.038804	-	-		
pto2	-	-	4.093795	-	-		
pto3	-	-	3.968552	-	-		
pto4	-	-	4.023798	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.107187	-	7.079057803	0.018	0.2515761567
pto1	-	-	7.118721	-	-		
pto2	-	-	7.096382	-	-		
pto3	-	-	7.095677	-	-		
pto4	-	-	7.117967	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.083215	-	3.0710117	0.099	3.2382785808
pto1	-	-	3.054608	-	-		
pto2	-	-	3.144681	-	-		
pto3	-	-	3.111688	-	-		
pto4	-	-	3.021881	-	-		

Tomografía 2 – Patrón 2

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996636468		1.7667610509			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.884	12	4.867572511	0.085	1.7540054785	21.595	27.687	38.589
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.898	13	4.881525422	0.088	1.7970730536	28.622	27.718	38.619
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.918	14	4.901458151	0.068	1.3790151116	28.715	9.632	38.892
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.896	15	4.879532149	0.075	1.5332996815	21.682	9.609	38.86
Diameter S_5	4,000	3.975	3.889	22	3.875919225	0.099	2.5563168059	25.078	31.354	42.96
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.93	12	3.916781321	0.062	1.5808561742	25.189	6.143	43.283
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.829	33	2.819484569	0.054	1.9090521579			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.827	31	2.817491296	0.055	1.9413974417			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.842	29	2.832440843	0.029	1.0241752087			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.027132	-	7.003496434	-0.002	-0.0269817756			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.410544	-	19.34525642	-0.014	-0.0706723043			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.080240	-	18.01942697	-0.006	-0.0339206276			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.684596	-	6.662111801	0.001	0.0157561381			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.340421	-	22.26527823	-0.006	-0.0256791914			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.088299	-	18.0274588	-0.009	-0.0515589487			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.394782	-	19.32954686	-0.004	-0.0225509743			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.680173	-	6.657704153	0.016	0.2376182155			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.338733	-	22.26359637	-0.002	-0.0097487938			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.033110	-	7.009454318	-0.008	-0.1177217491			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.396912	-	22.3215795	0.016	0.0722111134			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.624702	-	6.602419711	-0.002	-0.0327341127			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.387225	-	22.31192481	0.017	0.0774551524			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.623831	-	6.6015513	-0.007	-0.1117001481			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.213313	-	25.12850759	0.025	0.1002280064			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.031554	-	10.99444852	-0.002	-0.0155033782			
pto1	-	-	11.033274	-	-					
pto2	-	-	11.030413	-	-					
pto3	-	-	11.029821	-	-					

pto4	-	-	11.032706	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.841013	-	3.828093133	0.053	1.3841440023
pto1	-	-	3.837701	-	-		
pto2	-	-	3.837630	-	-		
pto3	-	-	3.844335	-	-		
pto4	-	-	3.844384	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.041131	-	7.017447435	0.049	0.6966801745
pto1	-	-	7.033945	-	-		
pto2	-	-	7.043255	-	-		
pto3	-	-	7.048360	-	-		
pto4	-	-	7.038962	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.084496	-	7.060666824	0.009	0.1303050551
pto1	-	-	7.061120	-	-		
pto2	-	-	7.088062	-	-		
pto3	-	-	7.108008	-	-		
pto4	-	-	7.080793	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.884398	-	3.871332704	0.031	0.7986550454
pto1	-	-	3.871578	-	-		
pto2	-	-	3.889163	-	-		
pto3	-	-	3.897299	-	-		
pto4	-	-	3.879552	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.190533	-	7.166347664	-0.077	-1.0808463314
pto1	-	-	7.188883	-	-		
pto2	-	-	7.186070	-	-		
pto3	-	-	7.192183	-	-		
pto4	-	-	7.194997	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.200098	-	3.18933412	-0.030	-0.9486920749
pto1	-	-	3.201239	-	-		
pto2	-	-	3.210711	-	-		
pto3	-	-	3.198901	-	-		
pto4	-	-	3.189540	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996659317		0.6924664780			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.925	12	4.908547135	0.044	0.9046030154	21.599	27.69	38.587
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.946	13	4.92947698	0.040	0.8068405614	28.626	27.722	38.611
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.964	17	4.947416848	0.022	0.4372615590	28.717	9.64	38.889
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.946	16	4.92947698	0.025	0.5045772572	21.689	9.614	38.852
Diameter S_5	4,000	3.975	3.945	22	3.931821004	0.043	1.0981933227	25.077	31.358	42.957
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.976	12	3.962717443	0.016	0.4033231524	25.194	6.149	43.284
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.902	29	2.892305337	-0.031	-1.0668077325			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.886	35	2.876358788	-0.004	-0.1449328204			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.905	29	2.895295315	-0.022	-0.7593461993			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.027114	-	7.003638484	-0.002	-0.0290094490			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.405144	-	19.34031793	-0.009	-0.0451556353			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.078166	-	18.01777299	-0.004	-0.0247440205			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.681887	-	6.659564493	0.004	0.0540125314			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.338319	-	22.26369418	-0.004	-0.0185660597			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.084366	-	18.02395173	-0.006	-0.0321111647			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.392775	-	19.32798967	-0.003	-0.0144961201			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.686076	-	6.663739991	0.010	0.1468256482			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.338529	-	22.26390314	-0.002	-0.0111265630			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.028145	-	7.00466668	-0.003	-0.0494529440			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.393520	-	22.31871056	0.019	0.0850747831			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.626812	-	6.604673748	-0.004	-0.0668508427			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.385958	-	22.31117337	0.018	0.0808257757			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.628263	-	6.606120343	-0.012	-0.1807866755			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.211392	-	25.12716897	0.027	0.1055607360			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.032539	-	10.99568303	-0.003	-0.0267288554			
pto1	-	-	11.036048	-	-					
pto2	-	-	11.029814	-	-					
pto3	-	-	11.035288	-	-					
pto4	-	-	11.029007	-	-					
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.887492	-	3.874504871	0.007	0.1696883481			

pto1	-	-	3.887822	-	-		
pto2	-	-	3.881837	-	-		
pto3	-	-	3.893128	-	-		
pto4	-	-	3.887180	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.044868	-	7.021333078	0.045	0.6409540977
pto1	-	-	7.034624	-	-		
pto2	-	-	7.049497	-	-		
pto3	-	-	7.055174	-	-		
pto4	-	-	7.040176	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.085060	-	7.061391307	0.008	0.1200319100
pto1	-	-	7.069837	-	-		
pto2	-	-	7.084288	-	-		
pto3	-	-	7.085763	-	-		
pto4	-	-	7.100353	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.927699	-	3.914577801	-0.012	-0.3148871643
pto1	-	-	3.922409	-	-		
pto2	-	-	3.927933	-	-		
pto3	-	-	3.933015	-	-		
pto4	-	-	3.927439	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.145068	-	7.12119859	-0.032	-0.4536895292
pto1	-	-	7.142938	-	-		
pto2	-	-	7.142656	-	-		
pto3	-	-	7.147193	-	-		
pto4	-	-	7.147485	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.157358	-	3.146809768	0.012	0.3898358147
pto1	-	-	3.158318	-	-		
pto2	-	-	3.167336	-	-		
pto3	-	-	3.156353	-	-		
pto4	-	-	3.147423	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.99701359		-0.0117019890			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.966	12	4.951169489	0.002	0.0359614244	21.601	27.693	38.585
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.973	12	4.958148584	0.011	0.2239024457	28.629	27.724	38.618
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.989	17	4.974100802	-0.005	-0.1015420013	28.72	9.64	38.885
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.984	15	4.969115734	-0.015	-0.2971501237	21.69	9.616	38.855
Diameter S_5	4,000	3.975	3.966	19	3.954155899	0.021	0.5271441442	25.076	31.341	42.958
Diameter S_6	4,000	3.9787	4.009	13	3.997027483	-0.018	-0.4585278231	25.198	6.156	43.288
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.938	20	2.929225928	-0.068	-2.3137828788			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.936	21	2.927231901	-0.055	-1.8803396071			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.954	37	2.945178145	-0.072	-2.4401968879			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.028146	-	7.00715692	-0.006	-0.0792069229			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.408271	-	19.35030961	-0.019	-0.0967680962			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.079235	-	18.02524332	-0.012	-0.0661774966			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.671331	-	6.651407723	0.012	0.1767110003			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.336047	-	22.26934222	-0.010	-0.0439237481			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.086200	-	18.03218707	-0.014	-0.0777667224			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.393441	-	19.33552424	-0.010	-0.0534579857			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.673987	-	6.654055405	0.019	0.2925834545			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.332919	-	22.26622406	-0.005	-0.0215489153			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.030105	-	7.009110203	-0.008	-0.1128179987			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.378594	-	22.31176227	0.026	0.1162431129			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.627907	-	6.608113188	-0.008	-0.1188647949			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.366833	-	22.30003673	0.029	0.1308061463			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.627907	-	6.608113489	-0.014	-0.2108942456			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.187457	-	25.11223731	0.041	0.1650832123			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.035200	-	11.00224462	-0.010	-0.0863515610			
pto1	-	-	11.036598	-	-					
pto2	-	-	11.034893	-	-					
pto3	-	-	11.035506	-	-					
pto4	-	-	11.033804	-	-					
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.937004	-	3.925246493	-0.044	-1.1252041958			

pto1	-	-	3.940083	-	-		
pto2	-	-	3.933812	-	-		
pto3	-	-	3.940184	-	-		
pto4	-	-	3.933937	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.049396	-	7.028343615	0.038	0.5405681227
pto1	-	-	7.050664	-	-		
pto2	-	-	7.042164	-	-		
pto3	-	-	7.056652	-	-		
pto4	-	-	7.048104	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.083895	-	7.062739836	0.007	0.1009154318
pto1	-	-	7.086540	-	-		
pto2	-	-	7.065588	-	-		
pto3	-	-	7.102263	-	-		
pto4	-	-	7.081190	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.971535	-	3.95967412	-0.057	-1.4501905854
pto1	-	-	3.979455	-	-		
pto2	-	-	3.973199	-	-		
pto3	-	-	3.963639	-	-		
pto4	-	-	3.969846	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.098191	-	7.076992893	0.012	0.1681161115
pto1	-	-	7.095317	-	-		
pto2	-	-	7.099862	-	-		
pto3	-	-	7.101075	-	-		
pto4	-	-	7.096510	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.112359	-	3.103063722	0.056	1.8051011156
pto1	-	-	3.107989	-	-		
pto2	-	-	3.122805	-	-		
pto3	-	-	3.101948	-	-		
pto4	-	-	3.116692	-	-		

Tomografía 3 – Patrón 1

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.99615291		1.2739094247			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.915	17	4.896091552	0.061	1.2501491670	6.729	-15.601	44.889
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.904	15	4.88513387	0.073	1.4926127246	6.568	-22.64	44.928
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.899	14	4.880153106	0.077	1.5808293847	7.033	-22.79	26.834
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.905	16	4.886130023	0.074	1.5241096021	7.198	-15.751	26.792
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.926	23	3.910896324	0.060	1.5355476260	10.97	-19.189	48.596
Diameter S_6	4,000	3.979	3.984	15	3.968673193	0.010	0.2602080440	11.54	-19.408	23.338
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.889	23	2.877885757	-0.021	-0.7219104061			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.884	27	2.872904992	-0.008	-0.2911684245			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.892	27	2.880874215	-0.010	-0.3403208453			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.040949	-	7.013861848	-0.015	-0.2161257372			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.435976	-	19.36120402	0.013	0.0648523496			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.103698	-	18.03405113	0.022	0.1192203801			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.678448	-	6.65275588	0.000	-0.0018054440			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.407244	-	22.32104103	-0.009	-0.0420193512			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.100596	-	18.03096098	0.026	0.1460793726			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.410557	-	19.33588268	0.020	0.1032579200			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.688888	-	6.663155716	0.000	0.0037619024			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.389612	-	22.30347676	0.000	0.0002304853			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.041059	-	7.013971281	-0.018	-0.2597151902			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.406513	-	22.32031289	0.039	0.1744009339			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.631213	-	6.605702363	-0.006	-0.0983491745			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.393353	-	22.30720343	0.040	0.1804821030			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.645053	-	6.619488855	-0.015	-0.2288219567			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.265380	-	25.16818178	0.014	0.0545514069			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.022988	-	10.98058107	0.012	0.1107676875			
pto1	-	-	11.002154	-	-					
pto2	-	-	11.008589	-	-					
pto3	-	-	11.037424	-	-					

pto4	-	-	11.043783	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.832319	-	3.817575475	0.078	2.0510795856
pto1	-	-	3.818192	-	-		
pto2	-	-	3.839223	-	-		
pto3	-	-	3.825470	-	-		
pto4	-	-	3.846390	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.105286	-	7.077951325	-0.012	-0.1640972696
pto1	-	-	7.106232	-	-		
pto2	-	-	7.089446	-	-		
pto3	-	-	7.121125	-	-		
pto4	-	-	7.104341	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.070581	-	7.043379589	0.026	0.3760643729
pto1	-	-	7.092114	-	-		
pto2	-	-	7.100970	-	-		
pto3	-	-	7.040151	-	-		
pto4	-	-	7.049088	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.797277	-	3.782668035	0.117	3.0861703912
pto1	-	-	3.803755	-	-		
pto2	-	-	3.850427	-	-		
pto3	-	-	3.744110	-	-		
pto4	-	-	3.790814	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.189892	-	7.162231589	-0.065	-0.9126284716
pto1	-	-	7.196593	-	-		
pto2	-	-	7.211223	-	-		
pto3	-	-	7.168574	-	-		
pto4	-	-	7.183177	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.272899	-	3.260308112	-0.090	-2.7558284253
pto1	-	-	3.257869	-	-		
pto2	-	-	3.295632	-	-		
pto3	-	-	3.250142	-	-		
pto4	-	-	3.287954	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996485701		0.5310879905			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.947	16	4.929614763	0.028	0.5616105553	6.734	-15.603	44.894
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.938	14	4.920646392	0.037	0.7601360711	6.571	-22.639	44.932
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.932	15	4.914667478	0.043	0.8674548697	7.033	-22.789	26.838
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.942	16	4.924632335	0.036	0.7303624496	7.195	-15.754	26.794
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.946	18	3.932132576	0.039	0.9871850162	10.973	-19.192	48.582
Diameter S_6	4,000	3.979	4.022	16	4.00786549	-0.029	-0.7202210190	11.54	-19.409	23.336
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.92	23	2.909738247	-0.053	-1.8086935192			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.917	27	2.90674879	-0.042	-1.4520962439			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.923	28	2.912727704	-0.042	-1.4301956254			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.037990	-	7.013256807	-0.015	-0.2075172830			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.435718	-	19.36741505	0.006	0.0327620954			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.106499	-	18.04286779	0.013	0.0702970735			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.667187	-	6.643756774	0.009	0.1336441754			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.412734	-	22.33396874	-0.022	-0.0998786626			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.100519	-	18.03690814	0.020	0.1130589980			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.410813	-	19.34259718	0.013	0.0685085462			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.676969	-	6.653503984	0.010	0.1488297585			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.394443	-	22.31574223	-0.012	-0.0547329502			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.037003	-	7.012272427	-0.017	-0.2355512400			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.388916	-	22.31023433	0.049	0.2196543022			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.633359	-	6.610047497	-0.011	-0.1640198193			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.378786	-	22.30014046	0.047	0.2122115741			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.647993	-	6.624630195	-0.020	-0.3062538474			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.253299	-	25.16455103	0.017	0.0689872792			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.044549	-	11.0057349	-0.013	-0.1180374988			
pto1	-	-	11.028627	-	-					
pto2	-	-	11.039941	-	-					
pto3	-	-	11.049186	-	-					

pto4	-	-	11.060441	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.890158	-	3.876487071	0.019	0.5001929433
pto1	-	-	3.873817	-	-		
pto2	-	-	3.900553	-	-		
pto3	-	-	3.879791	-	-		
pto4	-	-	3.906472	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.066632	-	7.041797244	0.025	0.3484814253
pto1	-	-	7.075587	-	-		
pto2	-	-	7.078426	-	-		
pto3	-	-	7.054819	-	-		
pto4	-	-	7.057694	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.084613	-	7.059715303	0.010	0.1438008026
pto1	-	-	7.102552	-	-		
pto2	-	-	7.119155	-	-		
pto3	-	-	7.050033	-	-		
pto4	-	-	7.066711	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.907927	-	3.894192878	0.005	0.1339106267
pto1	-	-	3.900569	-	-		
pto2	-	-	3.941063	-	-		
pto3	-	-	3.874798	-	-		
pto4	-	-	3.915276	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.154047	-	7.128905291	-0.032	-0.4494135596
pto1	-	-	7.153622	-	-		
pto2	-	-	7.169057	-	-		
pto3	-	-	7.139038	-	-		
pto4	-	-	7.154470	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.176415	-	3.165252128	0.005	0.1645204145
pto1	-	-	3.151167	-	-		
pto2	-	-	3.174967	-	-		
pto3	-	-	3.177817	-	-		
pto4	-	-	3.201709	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996640691		-0.0720943512			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.977	16	4.960280718	-0.003	-0.0600917107	6.736	-15.601	44.893
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.966	13	4.94931767	0.009	0.1764350289	6.573	-22.638	44.931
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.959	15	4.942341185	0.015	0.3026665771	7.034	-22.79	26.838
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.968	17	4.951310951	0.009	0.1876078633	7.196	-15.754	26.794
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.973	15	3.959653464	0.011	0.2852910239	10.977	-19.191	48.575
Diameter S_6	4,000	3.979	4.046	16	4.032408235	-0.053	-1.3244748895	11.54	-19.409	23.339
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.945	23	2.935106834	-0.078	-2.6573763231			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.943	27	2.933113553	-0.069	-2.3379099190			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.963	32	2.953046366	-0.082	-2.7759932058			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.038990	-	7.015343981	-0.017	-0.2372071045			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.435883	-	19.37059191	0.003	0.0163562839			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.105491	-	18.04466921	0.011	0.0603069308			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.665681	-	6.643289051	0.009	0.1406941203			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.408797	-	22.33351921	-0.022	-0.0978678425			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.099510	-	18.03870847	0.019	0.1030673543			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.409491	-	19.34428885	0.012	0.0597574862			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.675010	-	6.652586763	0.011	0.1626377020			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.389998	-	22.31478271	-0.011	-0.0504353682			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.038002	-	7.014359447	-0.019	-0.2652346844			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.382967	-	22.30777585	0.051	0.2306992304			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.631606	-	6.609328374	-0.010	-0.1531572373			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.372324	-	22.29716866	0.050	0.2255679962			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.645780	-	6.623454334	-0.019	-0.2885552191			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.243221	-	25.15842087	0.023	0.0933703516			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.061685	-	11.02452538	-0.032	-0.2882787929			
pto1	-	-	11.022454	-	-					
pto2	-	-	11.042481	-	-					
pto3	-	-	11.08096	-	-					

pto4	-	-	11.100845	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.948231	-	3.934967173	-0.039	-0.9934056631
pto1	-	-	3.911078	-	-		
pto2	-	-	3.941408	-	-		
pto3	-	-	3.955118	-	-		
pto4	-	-	3.985318	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.048177	-	7.024499495	0.042	0.5955884093
pto1	-	-	7.069099	-	-		
pto2	-	-	7.064838	-	-		
pto3	-	-	7.031476	-	-		
pto4	-	-	7.027293	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.105803	-	7.081931911	-0.012	-0.1703586171
pto1	-	-	7.113585	-	-		
pto2	-	-	7.140226	-	-		
pto3	-	-	7.071358	-	-		
pto4	-	-	7.098041	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	4.005903	-	3.992445933	-0.093	-2.3303588367
pto1	-	-	3.955616	-	-		
pto2	-	-	4.016838	-	-		
pto3	-	-	3.995051	-	-		
pto4	-	-	4.056107	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.113123	-	7.089228069	0.008	0.1077544014
pto1	-	-	7.115192	-	-		
pto2	-	-	7.125516	-	-		
pto3	-	-	7.100737	-	-		
pto4	-	-	7.111048	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.099483	-	3.089071127	0.081	2.6347236327
pto1	-	-	3.041525	-	-		
pto2	-	-	3.075897	-	-		
pto3	-	-	3.122965	-	-		
pto4	-	-	3.157546	-	-		

Tomografía 3 – Patrón 2

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996236256		1.5101254584			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.904	14	4.8855426	0.067	1.3797321108	21.684	-27.947	38.683
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.907	13	4.888531309	0.081	1.6511849096	28.71	-28.044	38.73
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.919	16	4.900486144	0.069	1.3991235601	28.965	-9.953	38.861
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.916	17	4.897497435	0.057	1.1608493056	21.936	-9.865	38.806
Diameter S_5	4,000	3.975	3.895	21	3.880340218	0.095	2.4394712099	25.122	-31.618	43.09
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.953	12	3.93812192	0.041	1.0303916542	25.47	-6.383	43.211
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.849	30	2.838277094	0.035	1.2343018384			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.848	27	2.837280857	0.035	1.2303731761			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.853	29	2.842262039	0.019	0.6750947330			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.026827	-	7.000379561	0.001	0.0175305536			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.412076	-	19.33901357	-0.007	-0.0384139761			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.084174	-	18.01611001	-0.003	-0.0155158208			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.687132	-	6.661963319	0.001	0.0179852866			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.357162	-	22.273015	-0.013	-0.0604063134			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.093271	-	18.02517288	-0.007	-0.0388836612			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.400229	-	19.32721171	-0.002	-0.0104714795			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.682576	-	6.657424347	0.016	0.2418311221			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.355668	-	22.27152677	-0.010	-0.0453531602			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.029766	-	7.00330776	-0.002	-0.0300585749			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.405921	-	22.32159128	0.016	0.0721583016			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.624381	-	6.599448629	0.001	0.0122713071			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.398577	-	22.3142747	0.015	0.0669161147			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.634569	-	6.60959812	-0.015	-0.2333086235			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.237689	-	25.14270127	0.011	0.0437189237			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.031362	-	10.98984278	0.003	0.0263992055			
pto1	-	-	11.042914	-	-					
pto2	-	-	11.035079	-	-					
pto3	-	-	11.027716	-	-					

pto4	-	-	11.019739	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.851266	-	3.836770572	0.044	1.1548483690
pto1	-	-	3.871367	-	-		
pto2	-	-	3.854389	-	-		
pto3	-	-	3.848244	-	-		
pto4	-	-	3.831063	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.048672	-	7.022142355	0.044	0.6293555846
pto1	-	-	7.056616	-	-		
pto2	-	-	7.058640	-	-		
pto3	-	-	7.038804	-	-		
pto4	-	-	7.040627	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.090310	-	7.06362364	0.006	0.0883907541
pto1	-	-	7.088629	-	-		
pto2	-	-	7.106914	-	-		
pto3	-	-	7.073813	-	-		
pto4	-	-	7.091883	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.892845	-	3.878193079	0.024	0.6203460878
pto1	-	-	3.903325	-	-		
pto2	-	-	3.902609	-	-		
pto3	-	-	3.883190	-	-		
pto4	-	-	3.882255	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.179997	-	7.152973081	-0.064	-0.8958879375
pto1	-	-	7.188573	-	-		
pto2	-	-	7.179370	-	-		
pto3	-	-	7.180594	-	-		
pto4	-	-	7.171450	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.202214	-	3.190161687	-0.031	-0.9743871860
pto1	-	-	3.209626	-	-		
pto2	-	-	3.190622	-	-		
pto3	-	-	3.204308	-	-		
pto4	-	-	3.204300	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996304384		0.6711726662			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.936	14	4.917758438	0.035	0.7156016885	21.684	-27.948	38.681
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.948	15	4.92971409	0.040	0.8019919429	28.712	-28.045	38.72
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.958	17	4.939677134	0.029	0.5946312922	28.966	-9.954	38.853
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.951	16	4.932703003	0.022	0.4388465441	21.938	-9.865	38.803
Diameter S_5	4,000	3.975	3.938	20	3.923446663	0.052	1.3139808364	25.122	-31.614	43.089
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.987	13	3.972265578	0.006	0.1619836930	25.472	-6.39	43.209
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.902	29	2.891275321	-0.030	-1.0315628217			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.901	25	2.890279017	-0.018	-0.6258571161			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.906	28	2.895260539	-0.022	-0.7581541809			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.028778	-	7.002801895	-0.001	-0.0170664368			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.412397	-	19.34065589	-0.009	-0.0469022518			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.085195	-	18.01835936	-0.005	-0.0279974919			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.685048	-	6.660342421	0.003	0.0423262166			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.351713	-	22.26911004	-0.010	-0.0428816192			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.093272	-	18.02640605	-0.008	-0.0457219255			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.401195	-	19.32949556	-0.004	-0.0222856474			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.686854	-	6.662142369	0.011	0.1708414686			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.351460	-	22.26885717	-0.007	-0.0333705547			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.028741	-	7.002765821	-0.002	-0.0223219694			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.402581	-	22.31978958	0.018	0.0802363323			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.624565	-	6.600083642	0.000	0.0026488359			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.394791	-	22.3120282	0.017	0.0769914153			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.631562	-	6.607054474	-0.013	-0.1948995037			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.226714	-	25.13348528	0.020	0.0804031316			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.032923	-	10.99214955	0.001	0.0054080480			
pto1	-	-	11.038336	-	-					
pto2	-	-	11.036824	-	-					
pto3	-	-	11.029075	-	-					

pto4	-	-	11.027457	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.888162	-	3.873793094	0.007	0.1880936934
pto1	-	-	3.900910	-	-		
pto2	-	-	3.885967	-	-		
pto3	-	-	3.890400	-	-		
pto4	-	-	3.875372	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.049244	-	7.0231922	0.043	0.6143132395
pto1	-	-	7.056118	-	-		
pto2	-	-	7.057368	-	-		
pto3	-	-	7.041209	-	-		
pto4	-	-	7.042279	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.090712	-	7.064507698	0.005	0.0758656188
pto1	-	-	7.091055	-	-		
pto2	-	-	7.106821	-	-		
pto3	-	-	7.074723	-	-		
pto4	-	-	7.090250	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.929740	-	3.91521669	-0.013	-0.3311538796
pto1	-	-	3.935814	-	-		
pto2	-	-	3.935383	-	-		
pto3	-	-	3.923861	-	-		
pto4	-	-	3.923900	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.144744	-	7.118339767	-0.029	-0.4137103590
pto1	-	-	7.152068	-	-		
pto2	-	-	7.138659	-	-		
pto3	-	-	7.150841	-	-		
pto4	-	-	7.137408	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.161109	-	3.149427003	0.010	0.3064099287
pto1	-	-	3.166940	-	-		
pto2	-	-	3.150841	-	-		
pto3	-	-	3.171427	-	-		
pto4	-	-	3.155229	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996678908		0.0385039839			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.963	12	4.946517422	0.006	0.1300425616	21.683	-27.947	38.682
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.974	12	4.95748089	0.012	0.2374010154	28.711	-28.044	38.722
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.987	17	4.970437716	-0.001	-0.0279193889	28.966	-9.953	38.852
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.978	16	4.961467606	-0.007	-0.1434576667	21.939	-9.865	38.803
Diameter S_5	4,000	3.975	3.969	19	3.955818587	0.019	0.4848911147	25.121	-31.597	43.094
Diameter S_6	4,000	3.9787	4.01	12	3.996682422	-0.018	-0.4499337325	25.472	-6.396	43.211
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.948	34	2.938209422	-0.077	-2.6124557761			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.947	26	2.937212743	-0.065	-2.2137566645			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.953	34	2.943192816	-0.070	-2.3743879744			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.028783	-	7.005439947	-0.004	-0.0547172011			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.412754	-	19.34828265	-0.017	-0.0863020460			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.084217	-	18.02415756	-0.011	-0.0601575668			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.678929	-	6.656747322	0.006	0.0963559183			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.345334	-	22.27112335	-0.012	-0.0519177373			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.093264	-	18.03317472	-0.015	-0.0832392822			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.399551	-	19.33512349	-0.010	-0.0513864418			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.680291	-	6.658105526	0.015	0.2315755556			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.344533	-	22.27032456	-0.009	-0.0399573157			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.027722	-	7.004382113	-0.003	-0.0453922616			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.388419	-	22.31406545	0.024	0.1059094870			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.622776	-	6.600781459	-0.001	-0.0079231672			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.378955	-	22.30463249	0.025	0.1101746955			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.629217	-	6.607200459	-0.013	-0.1971046847			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.203716	-	25.12001197	0.034	0.1340820479			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.036313	-	10.99966014	-0.007	-0.0628758862			
pto1	-	-	11.043663	-	-					
pto2	-	-	11.038198	-	-					
pto3	-	-	11.034302	-	-					

pto4	-	-	11.029088	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.922644	-	3.90961654	-0.029	-0.7299203120
pto1	-	-	3.932038	-	-		
pto2	-	-	3.919905	-	-		
pto3	-	-	3.925284	-	-		
pto4	-	-	3.913349	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.048526	-	7.025117448	0.041	0.5867396803
pto1	-	-	7.054428	-	-		
pto2	-	-	7.057862	-	-		
pto3	-	-	7.038997	-	-		
pto4	-	-	7.042818	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.091650	-	7.068097731	0.002	0.0250350121
pto1	-	-	7.095060	-	-		
pto2	-	-	7.108336	-	-		
pto3	-	-	7.074718	-	-		
pto4	-	-	7.088485	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.965718	-	3.952546989	-0.050	-1.2724881041
pto1	-	-	3.972627	-	-		
pto2	-	-	3.970335	-	-		
pto3	-	-	3.960948	-	-		
pto4	-	-	3.958960	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.113700	-	7.090074501	-0.001	-0.0167000067
pto1	-	-	7.115772	-	-		
pto2	-	-	7.109050	-	-		
pto3	-	-	7.118323	-	-		
pto4	-	-	7.111654	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.125903	-	3.11552134	0.044	1.3980266788
pto1	-	-	3.129491	-	-		
pto2	-	-	3.113735	-	-		
pto3	-	-	3.137976	-	-		
pto4	-	-	3.122409	-	-		

Tomografía 4 – Patrón 1

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.995869763		1.8542044267			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.912	18	4.891712275	0.066	1.3407927897	6.491	16.447	44.793
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.882	14	4.861836182	0.096	1.9789605153	6.784	23.495	44.825
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.886	13	4.865819661	0.091	1.8800602094	7.264	23.586	26.732
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.901	15	4.880757707	0.080	1.6358585623	6.98	16.544	26.697
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.869	18	3.853020112	0.118	3.0607130139	10.975	19.778	48.493
Diameter S_6	4,000	3.979	3.947	14	3.930697953	0.048	1.2288414698	11.56	19.922	23.262
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.854	29	2.842212303	0.015	0.5241584928			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.855	27	2.843208173	0.021	0.7502731460			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.869	23	2.857150349	0.014	0.4871864979			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.054160	-	7.025024906	-0.026	-0.3746864899			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.436115	-	19.35583935	0.018	0.0925863424			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.102866	-	18.02809655	0.027	0.1522891936			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.700136	-	6.672462446	-0.020	-0.2971418454			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.390943	-	22.29846351	0.013	0.0591895929			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.099595	-	18.02483913	0.032	0.1800923965			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.415952	-	19.33575974	0.020	0.1038944082			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.695879	-	6.668223313	-0.005	-0.0722371686			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.372740	-	22.28033481	0.023	0.1040978827			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.047811	-	7.018702229	-0.023	-0.3269450086			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.401194	-	22.30867205	0.051	0.2266726976			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.627323	-	6.599950723	-0.001	-0.0112881727			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.393847	-	22.3013554	0.046	0.2067521856			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.647293	-	6.61983846	-0.015	-0.2340910527			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.238192	-	25.13395201	0.048	0.1908150383			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.008435	-	10.9629673	0.030	0.2716117499			
pto1	-	-	11.03661	-	-					
pto2	-	-	10.971373	-	-					
pto3	-	-	11.045427	-	-					

pto4	-	-	10.980329	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.800773	-	3.785074408	0.111	2.9273553454
pto1	-	-	3.799805	-	-		
pto2	-	-	3.826545	-	-		
pto3	-	-	3.801775	-	-		
pto4	-	-	3.774965	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.137600	-	7.108120018	-0.042	-0.5878265776
pto1	-	-	7.153684	-	-		
pto2	-	-	7.131057	-	-		
pto3	-	-	7.121542	-	-		
pto4	-	-	7.144117	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.026236	-	6.997216227	0.073	1.0382843786
pto1	-	-	7.017000	-	-		
pto2	-	-	7.027377	-	-		
pto3	-	-	7.035331	-	-		
pto4	-	-	7.025237	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.765953	-	3.750398472	0.149	3.9731550040
pto1	-	-	3.799576	-	-		
pto2	-	-	3.740028	-	-		
pto3	-	-	3.741804	-	-		
pto4	-	-	3.782403	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.206825	-	7.177059103	-0.080	-1.1173389764
pto1	-	-	7.233999	-	-		
pto2	-	-	7.195570	-	-		
pto3	-	-	7.218042	-	-		
pto4	-	-	7.179689	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.336129	-	3.322349996	-0.152	-4.5717754543
pto1	-	-	3.343615	-	-		
pto2	-	-	3.294296	-	-		
pto3	-	-	3.328582	-	-		
pto4	-	-	3.378023	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996139034		0.9420649451			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.938	15	4.918934548	0.038	0.7799545137	6.507	16.451	44.801
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.922	12	4.902996323	0.055	1.1228577983	6.791	23.49	44.832
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.92	13	4.901004045	0.056	1.1486616643	7.269	23.586	26.736
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.928	15	4.908973158	0.052	1.0516831262	6.989	16.548	26.701
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.924	15	3.908849568	0.062	1.5887137899	10.975	19.78	48.495
Diameter S_6	4,000	3.979	3.996	14	3.980571578	-0.002	-0.0394812221	11.56	19.921	23.254
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.899	23	2.887807058	-0.031	-1.0629885521			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.891	27	2.879837946	-0.015	-0.5312085768			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.9	30	2.888803197	-0.018	-0.6138596595			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.044795	-	7.017595383	-0.019	-0.2692132390			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.437929	-	19.36288007	0.011	0.0561907480			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.106676	-	18.03676721	0.019	0.1041438875			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.685125	-	6.65931431	-0.007	-0.1002887330			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.401940	-	22.31544691	-0.004	-0.0169615105			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.102567	-	18.03267316	0.025	0.1365706197			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.415554	-	19.34059099	0.015	0.0788886111			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.684873	-	6.659062779	0.004	0.0652283763			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.385067	-	22.29863859	0.005	0.0219276502			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.043655	-	7.016459207	-0.021	-0.2950815161			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.398084	-	22.31160544	0.048	0.2134955182			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.630930	-	6.605328002	-0.006	-0.0926871910			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.390008	-	22.30356088	0.044	0.1968432651			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.644771	-	6.619115564	-0.015	-0.2231952841			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.248172	-	25.15068961	0.031	0.1241387976			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.036398	-	10.99378709	-0.001	-0.0094878811			
pto1	-	-	11.05961	-	-					
pto2	-	-	11.023711	-	-					
pto3	-	-	11.013148	-	-					

pto4	-	-	11.049124	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.867726	-	3.852793089	0.043	1.1182509891
pto1	-	-	3.848931	-	-		
pto2	-	-	3.861304	-	-		
pto3	-	-	3.874172	-	-		
pto4	-	-	3.886498	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.084404	-	7.057050856	0.009	0.1315810786
pto1	-	-	7.076293	-	-		
pto2	-	-	7.093293	-	-		
pto3	-	-	7.092498	-	-		
pto4	-	-	7.075530	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.071976	-	7.04467084	0.025	0.3576659646
pto1	-	-	7.108365	-	-		
pto2	-	-	7.084534	-	-		
pto3	-	-	7.035552	-	-		
pto4	-	-	7.059451	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.855534	-	3.840647913	0.059	1.5299424644
pto1	-	-	3.890272	-	-		
pto2	-	-	3.840410	-	-		
pto3	-	-	3.820802	-	-		
pto4	-	-	3.870652	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.168304	-	7.14062717	-0.044	-0.6128333693
pto1	-	-	7.172745	-	-		
pto2	-	-	7.149168	-	-		
pto3	-	-	7.163848	-	-		
pto4	-	-	7.187454	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.216356	-	3.203937509	-0.033	-1.0448984851
pto1	-	-	3.214668	-	-		
pto2	-	-	3.244039	-	-		
pto3	-	-	3.188712	-	-		
pto4	-	-	3.218004	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996111101		0.2270998700			
Diameter S_1	5,000	4.9573	4.967	15	4.947683838	0.010	0.1943568449	6.512	16.45	44.804
Diameter S_2	5,000	4.95805	4.957	12	4.937722727	0.020	0.4116730391	6.791	23.489	44.833
Diameter S_3	5,000	4.9573	4.946	12	4.926765505	0.031	0.6197675796	7.275	23.584	26.737
Diameter S_4	5,000	4.9606	4.954	16	4.934734393	0.026	0.5241539757	6.993	16.547	26.702
Diameter S_5	4,000	3.97095	3.964	14	3.948584404	0.022	0.5664206218	10.977	19.779	48.497
Diameter S_6	4,000	3.979	4.033	14	4.01731607	-0.038	-0.9537728414	11.559	19.921	23.249
Diameter C_1	3,000	2.85711	2.929	23	2.917609414	-0.060	-2.0735953901			
Diameter C_2	3,000	2.86454	2.924	27	2.912628859	-0.048	-1.6510465680			
Diameter C_3	3,000	2.87107	2.941	30	2.929562748	-0.058	-1.9966374700			
Distance S_1-S_2	7,000	6.998703087	7.044587	-	7.017191099	-0.018	-0.2634674191			
Distance S_1-S_3	19,310	19.37376022	19.439460	-	19.36386213	0.010	0.0511162979			
Distance S_1-S_4	18,000	18.0555514	18.108649	-	18.03822644	0.017	0.0960457999			
Distance S_1-S_5	6,590	6.652635768	6.682568	-	6.656580161	-0.004	-0.0592555533			
Distance S_1-S_6	22,210	22.31166188	22.408438	-	22.32129343	-0.010	-0.0431496280			
Distance S_2-S_3	18,000	18.05730049	18.102721	-	18.03232105	0.025	0.1385259237			
Distance S_2-S_4	19,310	19.35584851	19.415595	-	19.3400897	0.016	0.0814826123			
Distance S_2-S_5	6,590	6.663406378	6.686673	-	6.660668919	0.003	0.0410988513			
Distance S_2-S_6	22,210	22.30352816	22.390478	-	22.30340366	0.000	0.0005582002			
Distance S_3-S_4	7,000	6.995754933	7.042735	-	7.015346635	-0.020	-0.2792692032			
Distance S_3-S_5	22,210	22.35923972	22.398224	-	22.31111936	0.048	0.2156788360			
Distance S_3-S_6	6,590	6.599205709	6.628451	-	6.602674099	-0.003	-0.0525300774			
Distance S_4-S_5	22,210	22.34746394	22.390625	-	22.3035505	0.044	0.1968899159			
Distance S_4-S_6	6,590	6.604342011	6.644956	-	6.619114493	-0.015	-0.2231791319			
Distance S_5-S_6	25,000	25.18191137	25.255106	-	25.15689169	0.025	0.0994545758			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.057229	-	11.01422805	-0.021	-0.1950571865			
pto1	-	-	11.025982	-	-					
pto2	-	-	11.069137	-	-					
pto3	-	-	11.088426	-	-					

pto4	-	-	11.045369	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.895876986	3.918306	-	3.903068103	-0.007	-0.1842426796
pto1	-	-	3.889725	-	-		
pto2	-	-	3.920033	-	-		
pto3	-	-	3.916619	-	-		
pto4	-	-	3.946847	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.057055	-	7.029610327	0.037	0.5224510542
pto1	-	-	7.042424	-	-		
pto2	-	-	7.073494	-	-		
pto3	-	-	7.040586	-	-		
pto4	-	-	7.071714	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.094796	-	7.067205054	0.003	0.0376694392
pto1	-	-	7.133019	-	-		
pto2	-	-	7.078857	-	-		
pto3	-	-	7.056530	-	-		
pto4	-	-	7.110778	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.899407616	3.956721	-	3.941333711	-0.042	-1.0637539955
pto1	-	-	3.929475	-	-		
pto2	-	-	3.936650	-	-		
pto3	-	-	3.976818	-	-		
pto4	-	-	3.983941	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.096867024	7.138426	-	7.110664883	-0.014	-0.1940445670
pto1	-	-	7.128250	-	-		
pto2	-	-	7.141086	-	-		
pto3	-	-	7.148610	-	-		
pto4	-	-	7.135756	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.170459614	3.138133	-	3.125928619	0.045	1.4245685164
pto1	-	-	3.181366	-	-		
pto2	-	-	3.119941	-	-		
pto3	-	-	3.156255	-	-		
pto4	-	-	3.094968	-	-		

Tomografía 4 – Patrón 4

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO40	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO40	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996295869		2.1424956936			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.873	12	4.854949771	0.098	2.0185632002	22.207	27.843	38.62
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.877	12	4.858934954	0.110	2.2703544506	29.227	27.499	38.664
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.904	13	4.885834942	0.083	1.7031901096	28.353	9.421	38.774
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.878	14	4.85993125	0.094	1.9428001191	21.325	9.777	38.738
Diameter S_5	4,000	3.975	3.867	18	3.852676126	0.122	3.1750365162	25.872	31.272	43.032
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.925	14	3.910461287	0.068	1.7450297661	24.639	6.08	43.13
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.812	32	2.801583984	0.072	2.5601950987			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.808	37	2.797598801	0.075	2.6662579104			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.816	35	2.805569168	0.056	1.9917823811			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.028561	-	7.002526451	-0.001	-0.0131336140			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.420791	-	19.34885367	-0.017	-0.0892506860			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.087902	-	18.02090219	-0.008	-0.0421040115			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.682515	-	6.657762334	0.005	0.0810956837			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.358061	-	22.27524385	-0.016	-0.0704062228			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.099449	-	18.03240644	-0.014	-0.0789822688			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.404030	-	19.33215452	-0.007	-0.0360366304			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.676150	-	6.651420606	0.022	0.3323119413			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.355502	-	22.2726941	-0.011	-0.0505918579			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.037103	-	7.011036464	-0.010	-0.1402616862			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.399824	-	22.31685236	0.021	0.0934083217			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.628032	-	6.603481264	-0.003	-0.0488044975			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.386350	-	22.30342811	0.026	0.1155805900			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.628731	-	6.604176887	-0.010	-0.1514121967			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.222346	-	25.12891951	0.025	0.0985871350			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.035431	-	10.99455407	-0.002	-0.0164632513			
pto1	-	-	11.038955	-	-					
pto2	-	-	11.036243	-	-					
pto3	-	-	11.034633	-	-					

pto4	-	-	11.031892	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.832508	-	3.81831164	0.063	1.6438630579
pto1	-	-	3.846501	-	-		
pto2	-	-	3.836319	-	-		
pto3	-	-	3.828750	-	-		
pto4	-	-	3.818461	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.048723	-	7.022613857	0.044	0.6225992730
pto1	-	-	7.039053	-	-		
pto2	-	-	7.057532	-	-		
pto3	-	-	7.058271	-	-		
pto4	-	-	7.040037	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.088399	-	7.062142145	0.008	0.1093872843
pto1	-	-	7.086952	-	-		
pto2	-	-	7.109633	-	-		
pto3	-	-	7.089677	-	-		
pto4	-	-	7.067332	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.872198	-	3.857854374	0.044	1.1508190868
pto1	-	-	3.880866	-	-		
pto2	-	-	3.866374	-	-		
pto3	-	-	3.877922	-	-		
pto4	-	-	3.863628	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.202930	-	7.176248907	-0.087	-1.2173274636
pto1	-	-	7.199931	-	-		
pto2	-	-	7.192460	-	-		
pto3	-	-	7.205889	-	-		
pto4	-	-	7.213438	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.216202	-	3.204289016	-0.045	-1.4109793461
pto1	-	-	3.203703	-	-		
pto2	-	-	3.211759	-	-		
pto3	-	-	3.228770	-	-		
pto4	-	-	3.220577	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 1							
			Measurement ISO50	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO50	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.996385156		1.1245482751			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.911	11	4.893247502	0.060	1.2200997001	22.204	27.843	38.616
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.914	11	4.896236657	0.073	1.4912135123	29.225	27.499	38.662
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.944	12	4.926128212	0.043	0.8713087864	28.351	9.421	38.77
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.917	13	4.899225813	0.055	1.1251611839	21.325	9.775	38.736
Diameter S_5	4,000	3.975	3.943	18	3.928746671	0.046	1.1773049559	25.873	31.296	43.01
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.959	9	3.944688833	0.034	0.8622015119	24.643	6.094	43.127
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.874	31	2.863610939	-0.002	-0.0754620251			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.874	28	2.863610939	0.009	0.2995889238			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.879	29	2.868592865	0.005	0.1644407428			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.029573	-	7.004161939	-0.003	-0.0364807701			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.421107	-	19.35090304	-0.019	-0.0998317873			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.089767	-	18.02437518	-0.011	-0.0613641797			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.685208	-	6.661042017	0.002	0.0318189777			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.345399	-	22.26462357	-0.005	-0.0227395844			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.099437	-	18.03401048	-0.016	-0.0878697933			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.405042	-	19.33489573	-0.010	-0.0502090391			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.675194	-	6.65106437	0.022	0.3376858105			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.340657	-	22.25989943	0.002	0.0068576236			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.034995	-	7.009564121	-0.008	-0.1192863775			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.419494	-	22.33845098	-0.001	-0.0033700750			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.618281	-	6.594356843	0.006	0.0894950837			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.407696	-	22.32669526	0.003	0.0112479329			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.621160	-	6.597226011	-0.003	-0.0462111399			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.232269	-	25.14105817	0.013	0.0502573178			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.035855	-	10.99596161	-0.003	-0.0292616473			
pto1	-	-	11.037543	-	-					
pto2	-	-	11.033423	-	-					
pto3	-	-	11.038291	-	-					

pto4	-	-	11.034161	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.872290	-	3.858292525	0.023	0.5905961987
pto1	-	-	3.880604	-	-		
pto2	-	-	3.880157	-	-		
pto3	-	-	3.864461	-	-		
pto4	-	-	3.863939	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.049759	-	7.024275471	0.042	0.5987966844
pto1	-	-	7.055575	-	-		
pto2	-	-	7.055974	-	-		
pto3	-	-	7.044002	-	-		
pto4	-	-	7.043486	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.089219	-	7.063592829	0.006	0.0888273275
pto1	-	-	7.109310	-	-		
pto2	-	-	7.092154	-	-		
pto3	-	-	7.069279	-	-		
pto4	-	-	7.086134	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.911775	-	3.897634295	0.005	0.1184565535
pto1	-	-	3.905906	-	-		
pto2	-	-	3.916362	-	-		
pto3	-	-	3.907133	-	-		
pto4	-	-	3.917698	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.163567	-	7.137672073	-0.049	-0.6834387244
pto1	-	-	7.168965	-	-		
pto2	-	-	7.156942	-	-		
pto3	-	-	7.158137	-	-		
pto4	-	-	7.170225	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.177437	-	3.165951061	-0.007	-0.2171196385
pto1	-	-	3.178994	-	-		
pto2	-	-	3.163365	-	-		
pto3	-	-	3.175785	-	-		
pto4	-	-	3.191604	-	-		

Dimension	Nominal value [mm]	Calibrated value [mm]	Part 2							
			Measurement ISO60	Uncertainty [μm]	Measurement corregido ISO60	Error de medida mm	Error de medida %	Center X	Center Y	Center Z
					0.99660846		0.3079949490			
Diameter S_1	5,000	4.95295	4.945	12	4.928228833	0.025	0.5016237597	22.206	27.844	38.613
Diameter S_2	5,000	4.96925	4.955	11	4.938194918	0.031	0.6288751797	29.228	27.502	38.654
Diameter S_3	5,000	4.96905	4.98	14	4.963110129	0.006	0.1196804124	28.353	9.425	38.764
Diameter S_4	5,000	4.95435	4.955	14	4.938194918	0.016	0.3271454941	21.329	9.778	38.728
Diameter S_5	4,000	3.975	3.978	18	3.964508453	0.010	0.2646367745	25.87	31.268	43.027
Diameter S_6	4,000	3.9787	3.992	10	3.978460971	0.000	0.0060080735	24.644	6.097	43.126
Diameter C_1	3,000	2.86145	2.914	33	2.904117052	-0.043	-1.4691918687			
Diameter C_2	3,000	2.87219	2.925	31	2.915079745	-0.043	-1.4713060497			
Diameter C_3	3,000	2.87331	2.921	31	2.911093311	-0.038	-1.2979079254			
Distance S_1-S_2	7,000	7.001606767	7.030443	-	7.006598985	-0.005	-0.0712502382			
Distance S_1-S_3	19,310	19.33158468	19.418238	-	19.35238037	-0.021	-0.1074580037			
Distance S_1-S_4	18,000	18.01331467	18.087640	-	18.02629474	-0.013	-0.0720063507			
Distance S_1-S_5	6,590	6.663161492	6.680724	-	6.65806567	0.005	0.0765360747			
Distance S_1-S_6	22,210	22.25956069	22.343747	-	22.2679671	-0.008	-0.0377511532			
Distance S_2-S_3	18,000	18.01816403	18.098499	-	18.03711688	-0.019	-0.1050769245			
Distance S_2-S_4	19,310	19.32518786	19.404635	-	19.33882323	-0.014	-0.0705077619			
Distance S_2-S_5	6,590	6.673524071	6.676979	-	6.654333789	0.019	0.2883877217			
Distance S_2-S_6	22,210	22.26142593	22.342468	-	22.26669237	-0.005	-0.0236516204			
Distance S_3-S_4	7,000	7.001202666	7.032957	-	7.009104219	-0.008	-0.1127327104			
Distance S_3-S_5	22,210	22.33769816	22.393193	-	22.3172459	0.020	0.0916432856			
Distance S_3-S_6	6,590	6.600258468	6.622636	-	6.600175169	0.000	0.0012620653			
Distance S_4-S_5	22,210	22.32920655	22.381291	-	22.30538384	0.024	0.1068024864			
Distance S_4-S_6	6,590	6.594177358	6.624303	-	6.601836392	-0.008	-0.1160136882			
Distance S_5-S_6	25,000	25.15369339	25.201034	-	25.11556374	0.038	0.1518168173			
Distance P_6-P_4	11	10.99274401	11.037594	-	11.00015931	-0.007	-0.0674108072			
pto1	-	-	11.040283	-	-					
pto2	-	-	11.035897	-	-					
pto3	-	-	11.034893	-	-					

pto4	-	-	11.039302	-	-		
Distance P_5-P_4	4	3.881079454	3.910364	-	3.897101843	-0.016	-0.4111359963
pto1	-	-	3.915861	-	-		
pto2	-	-	3.913440	-	-		
pto3	-	-	3.904867	-	-		
pto4	-	-	3.907288	-	-		
Distance P_5-P_3	7	7.0663366	7.050740	-	7.02682738	0.040	0.5622625598
pto1	-	-	7.058986	-	-		
pto2	-	-	7.045586	-	-		
pto3	-	-	7.042534	-	-		
pto4	-	-	7.055855	-	-		
Distance P_4-P_2	7	7.06986723	7.090265	-	7.066217582	0.004	0.0516492439
pto1	-	-	7.091291	-	-		
pto2	-	-	7.071734	-	-		
pto3	-	-	7.089169	-	-		
pto4	-	-	7.108864	-	-		
Distance P_3-P_2	4	3.902251298	3.949909	-	3.936512226	-0.034	-0.8703371358
pto1	-	-	3.951318	-	-		
pto2	-	-	3.942659	-	-		
pto3	-	-	3.948470	-	-		
pto4	-	-	3.957187	-	-		
Distance P_6-P_5	7	7.088890458	7.127246	-	7.10307316	-0.014	-0.1996699355
pto1	-	-	7.124438	-	-		
pto2	-	-	7.122473	-	-		
pto3	-	-	7.130041	-	-		
pto4	-	-	7.132030	-	-		
Distance P_3-P_4	3	3.15907716	3.140351	-	3.129699875	0.029	0.9386614172
pto1	-	-	3.151671	-	-		
pto2	-	-	3.140694	-	-		
pto3	-	-	3.129070	-	-		
pto4	-	-	3.139967	-	-		